

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

#### 4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินทดลอง

ในการทดลองวิจัยครั้งนี้ จะทำทดสอบหาค่าของ  $K_0$  และค่าต่างๆ ของตัวอย่างดิน เครื่องมือที่ใช้การทดสอบการอัดตัวคายนํ้าเป็นแบบ Triaxial เพื่อที่จะเป็นการลดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากหน่วยแรงที่กระทำต่อตัวอย่างดินจะลดลงตามความหนาของตัวอย่างดิน ซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานทางด้านข้าง (Side Friction) และการทรุดตัวของดิน เกิดจากการที่ตัวอย่างดินไม่อิ่มตัวด้วยนํ้า

การจำแนกประเภทของดิน เป็นการบ่งถึงลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันแต่ละประเภท โดยอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ของดินเป็นเกณฑ์ เช่น ดินเม็ดหยาบไม่มีความเชื่อมแน่น แบ่งตามขนาดของดิน ส่วนดินเม็ดละเอียดที่มีความเชื่อมแน่นและดินที่มีสารอินทรีย์ แบ่งตามสภาวะความเหลวของดิน ในการเปลี่ยนแปลงปริมาณนํ้าหรือความชื้นในมวลดินเม็ดละเอียด ทำให้ดินมีสถานะภาพความเหลวต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน การจำแนกประเภทดินเม็ดละเอียด จะอาศัยเส้นตรงที่เรียกว่า A-line ตามสมการ  $PI = 0.73(LL-20)$  จะเห็นว่าค่าดัชนีความเหนียวหนืด (PI) และค่าพิกัดความเหลว (LL) เป็นตัวจำแนกคุณสมบัติของดินเม็ดละเอียด ดังนั้นในการวิจัยนี้จะใช้ค่าดัชนีความเหนียวหนืดหรือค่าพิกัดความเหลวเป็นตัวเปรียบเทียบกับค่าต่างๆ เพื่อที่จะหาค่าความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด

ในการทดลองวิจัยนี้ ได้นำตัวอย่างดินทดลอง จากบริเวณสองแห่งที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดินทดลองจากบริเวณลำลูกกา มีค่า Liquid Limit อยู่ในช่วง 40-85% และ Plastic Index อยู่ในช่วง 25-50% ต่ำกว่าดินทดลองบริเวณบางนาและบางพลี ซึ่งมีค่า Liquid Limit อยู่ในช่วง 80-100% และ Plastic Index อยู่ในช่วง 50-75% และมีค่าแรงแรงเฉือนสภาพอันเดรน (จาก Unconfined Compression Test) สูงกว่า จะเห็นได้ว่าค่า Liquid Limit และ Plastic Index อยู่ในช่วงที่ต่อเนื่องกันพอดี ได้แสดงคุณสมบัติพื้นฐานไว้ในตารางที่ 4.1 โดยที่จะแบ่งออกเป็น ดินบริเวณลำลูกกา กับ ดินบริเวณบางนาและบางพลี

ตัวอย่างดินบริเวณลำลูกกา จะมีจำพวก ทราย ปนอยู่ ส่วนในบริเวณบางนาและบางพลี จะมีจำพวก เปลือกหอย และสารอินทรีย์ (Organic Compound) ปนอยู่ ดังนั้นในการเตรียมตัวอย่างดินทดสอบ

จะทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของตัวอย่างดินทดลอง ไม่ได้ขนาดมาตรฐาน ซึ่งอาจจะผิดไปบ้าง และตัวอย่างดินทดลองที่ได้ก็ไม่เป็นเอกพันธ์ เนื่องจากมีสิ่งเจือปน ดังที่กล่าวมาข้างต้น

จากสมมุติฐานทฤษฎีของ TERZAGHI ที่สำคัญ คือ ตัวอย่างดินทดลองจะต้องเป็นเอกพันธ์ (Homogeneous) และเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic) จากตัวอย่างดินที่ได้ จะเห็นว่า มีจำพวก กรวด เปลือยหอย และสารอินทรีย์ ปะปนอยู่ บางที พบชั้นบางๆ ของดินตะกอน (Silt Layer) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ จะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนไปบ้าง

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติ	บริเวณลำลูกกา	บริเวณบางนาและบางพลี
Natural Water Content , %	50-70	70-100
Liquid Limit , %	40-85	80-100
Plastic Limit , %	20-35	25-35
Plastic Index , %	20-50	50-75
Maximum Past Pressure , t/sq.m.	8-12	7-9
Over Consolidation Ratio	1.1-1.4	1.2-1.5
Wet Density , t/cu.m.	1.55-1.65	1.40-1.55
Unified Soil Classification	CL,CH	CH

4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินเหนียว

สำหรับการวิจัยนี้ ได้นำตัวอย่างดินที่มีช่วงของค่า Plastic Index อยู่ระหว่าง 20-70% และค่า Liquid Limit อยู่ระหว่าง 40-100% มีค่าพิสัย (Range) ที่ค่อนข้างสูง เหมาะสำหรับการวิจัยเปรียบเทียบผลลัพธ์ต่างๆ กับค่าของ PI หรือค่าของ LL

เนื่องจากค่าของ Stress Ratio มีผลต่อค่าต่างๆ เช่น เวลาสิ้นสุด Primary Consolidation, Coefficient of Consolidation, Strain และค่าอื่นๆ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ การเปรียบเทียบผลการทดลองมี

ค่าของ Stress Ratio อยู่ในช่วงของ 2.20-2.50 ( $2.20 < \sigma'_{vc} / \sigma'_{vm} < 2.50$ ) ซึ่งค่าของ Stress Ratio นี้ มีค่าพิสัยที่ต่ำ จึงนำมาเปรียบเทียบผลของการวิจัยได้ ในตารางที่ 4.2 แสดงผลสรุปค่าต่างๆ กับตัวอย่างดินที่ใช้ในทดลอง

#### 4.2.1 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ Vertical Strain กับ Log Time

ในรูปกราฟที่ 4.1-4.10 เป็นการแสดงถึง ความสัมพันธ์ ระหว่าง Vertical Strain กับ Log Time และ Vertical Strain กับ Square Root Time ของแต่ละตัวอย่างดิน ที่ใช้ในการทดลอง โดยที่แกนตั้งทางด้านซ้าย จะเป็น Deflection Reading, แกนตั้งทางด้านขวา จะเป็น Vertical Strain, แกนนอนทางด้านบน จะเป็น Log Scale และแกนนอนทางด้านล่าง จะเป็น Square Root Scale เพื่อที่จะใช้หาค่า  $K_0$ ,  $C_\alpha$ ,  $C_v$  และเวลาสิ้นสุด Primary Consolidation และค่าอื่นๆ โดยวิธีของ CASAGRANDE และ TAYLOR ตามลำดับ

ในรูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบของกราฟ Vertical Strain กับ Log Time ของแต่ละตัวอย่างดิน ซึ่งจะ plot อยู่ในรูปเดียวกัน ไว้สำหรับเปรียบเทียบค่าของ PI รูปกราฟจะเป็นรูปของ Type I (s-curve) ตาม LEONARD และ GIRAULT (1961) เมื่อค่าของ PI เท่ากับ 69.59% จะให้ค่าของ Vertical Strain มากสุด หรือกราฟมีความลาดชันมาก และเมื่อค่าของ PI ลดลง ทำให้ค่าของ Vertical Strain ลดลงด้วย โดยที่รูปกราฟจะแบนขึ้น แสดงให้เห็นว่า ค่าของ PI จะมีผลกระทบโดยตรงกับกับค่าของ Vertical Strain เมื่อสังเกตค่าของ PI เท่ากับ 23.40% จะให้ค่า Vertical Strain ที่สูงกว่า ค่าของ PI เท่ากับ 28.40% เนื่องจากค่าของ Stress Ratio ของค่า PI เท่ากับ 23.40% มีค่าสูงกว่า ค่าของ PI เท่ากับ 28.40%

ค่าของ PI ที่สูงจะแสดงให้เห็นถึงช่วงของ Secondary Compression และเวลาสิ้นสุด Primary Consolidation ได้ชัดเจนกว่า ค่าของ PI ที่ต่ำ จากกราฟจะเห็นได้ว่า ในช่วงค่าของ PI ที่ต่ำ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Vertical Strain ต่อเปอร์เซ็นต์ของค่า PI มีค่าที่ต่ำกว่า ช่วงค่าของ PI ที่สูง แสดงว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Vertical Strain ต่อเปอร์เซ็นต์ของค่า PI จะมีการลดลงตาม ค่าของ PI ที่ลดลง จะกล่าวได้ว่า การทรุดตัว (Settlement) หรืออัตราการทรุดของดินที่มีค่าของ PI ที่ต่ำ จะมีค่าที่ต่ำกว่าค่าของ PI ที่สูง ซึ่งมีผู้กล่าวถึงดังนี้

นาย วัฒนา (1983) ได้กล่าวว่า เมื่อปริมาณแร่ดินเหนียวสูงขึ้นหรือค่าของ PI เพิ่มขึ้น จะมีอิทธิพลต่อการยุบตัวมากขึ้น

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าต่างๆกับตัวอย่างดิน

ตัวอย่างที่	สถานที่	ความลึก (ม.)	LL (%)	PI (%)	$t_p$			$\epsilon_v$			$t_p/H_v^2$			$C_\alpha$	$C_v$		$(\Delta K_o/\Delta \log(t/t_p))$		Ko(NC)			m
					method			method			method				method		method		method			
					Log t	$\sqrt{t}$	$\Delta u$	Log t	$\sqrt{t}$	$\Delta u$	Log t	$\sqrt{t}$	$\Delta u$		Log t	$\sqrt{t}$	$\Delta u$	Log t	$\sqrt{t}$	$\Delta u$	Log t	
01	บางพลี	9.00	100.30	69.59	2050	4080	7170	16.04	16.61	17.13	39.87	79.36	139.47	0.379	0.034	0.024	0.308	0.308	0.630	0.662	0.703	-
02	บางพลี	12.00	89.12	62.05	4570	5120	7170	15.14	14.76	15.35	82.52	92.45	129.46	0.315	0.020	0.016	0.185	0.186	0.682	0.691	0.712	-
03	บางพลี	15.00	79.53	53.22	2470	3010	5730	12.51	11.79	13.10	48.45	59.04	112.40	0.345	0.024	0.024	0.166	0.146	0.642	0.654	0.710	-
04	บางนา	12.00	92.27	64.92	4490	5010	7300	14.85	14.61	15.51	87.51	96.64	142.28	0.603	0.015	0.014	0.211	0.238	0.720	0.710	0.749	-
05	บางนา	15.00	88.22	50.54	4790	3960	7170	11.27	10.53	11.73	93.36	77.18	139.74	0.578	0.017	0.016	0.155	0.146	0.682	0.657	0.715	-
06	ลำลูกกา	10.50	50.71	28.40	740	740	2850	3.07	2.92	3.24	15.52	15.52	59.77	0.223	0.121	0.096	0.063	0.057	0.557	0.557	0.604	0.356
07	ลำลูกกา	8.00	85.85	48.35	4790	10880	4790	11.19	11.65	11.19	91.89	208.72	91.89	0.442	0.012	0.090	0.097	0.097	0.715	0.738	0.715	0.442
08	ลำลูกกา	9.00	50.09	23.58	1360	750	2790	4.01	3.49	4.15	28.19	15.55	57.83	0.171	0.082	0.088	0.071	0.067	0.564	0.551	0.595	0.393
09	ลำลูกกา	8.50	77.50	46.54	5180	8400	7160	15.09	15.09	14.88	101.69	164.91	140.56	0.499	0.012	0.010	0.148	0.147	0.710	0.748	0.735	0.415
10	ลำลูกกา	10.00	56.13	33.90	1500	1800	2880	3.50	3.42	3.64	32.35	38.82	62.12	0.296	0.044	0.039	0.078	0.085	0.610	0.614	0.629	0.407

หมายเหตุ :-  $C_v$  = Coefficient of Consolidation, (cm./min.<sup>2</sup>)  
 $C_\alpha$  = Coefficient of Secondary Compression, (%strain/ $\Delta \log$  time)  
 $H_v$  = Height of single drainage (cm.)  
Ko(NC) = Coefficient of Earth Pressure at Rest  
LL = Liquid Limit (%)  
m = Parameter m  
PI = Plastic Index (%)  
t = Time, (min.) >  $t_p$   
 $t_p$  = Time at End of Primary Consolidation, (min.)  
 $\epsilon_v$  = Vertical Strain, (%) (End of Primary Consolidation)

#### 4.2.2 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ Strain (End of Primary consolidation)

การเปลี่ยนแปลงค่าของ Strain ที่เวลาสิ้นสุด Primary consolidation กับค่าของ PI ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4.12 โดยจะพิจารณาเวลาสิ้นสุด Primary consolidation ออกเป็น 3 วิธี (โดยแต่ละวิธีจะแสดงอยู่ในรูปกราฟที่ 4.1-4.10)

1. วิธีของ CASAGRANDE หรือ Logarithm of time method ( $\log t$  method)
2. วิธีของ TAYLOR หรือ Square Root of time method ( $\sqrt{t}$  method)
3. วิธีวัดโดยตรง หรือ Excess pore water pressure method ( $\Delta u$  method)

เมื่อพิจารณา ในแต่ละค่าของ PI ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ของ Strain โดยส่วนรวมนั้น จะเห็นได้ว่า วิธีของ  $\Delta u$  ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของ Strain สูงสุด รองลงมา คือ วิธีของ  $\log t$  และต่ำสุด คือ วิธีของ  $\sqrt{t}$

สำหรับค่าความแตกต่างกันของเปอร์เซ็นต์ Strain ทั้ง 3 วิธี จะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อค่าของ PI ต่ำจะให้ค่าความแตกต่างกันของเปอร์เซ็นต์ Strain ต่ำ ในทำนองเดียวกัน เมื่อค่าของ PI สูงจะให้ค่าความแตกต่างกันของเปอร์เซ็นต์ Strain สูง แต่ค่าความแตกต่างกันของค่าเปอร์เซ็นต์ Strain ทั้ง 3 วิธีนี้ มีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาโดยรวมค่าเปอร์เซ็นต์ Strain กับค่าของ PI จะเห็นว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ Strain จะแปรผันตรงกับค่าของ PI โดยที่ค่าของเปอร์เซ็นต์ Strain ทั้ง 3 วิธี มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงเส้นเดียว ใช้วิธีสมการเส้นถดถอย (Regression) จะได้สมการที่ 4.1 ดังนี้

$$\epsilon_v = 0.32 \cdot PI - 5.214 \quad \text{-----} (4.1)$$

เมื่อ  $\epsilon_v =$  Vertical Strain , (%)

PI = Plastic Index , (%)

#### 4.2.3 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ $t_p/H_v^2$

ในรูปที่ 4.13 ได้แสดงค่าของเวลาสิ้นสุด Primary Consolidation ( $t_p$ ) ส่วนกำลังสองของ ความสูงของตัวอย่างดิน ( $H_v^2$ ) กับค่าของ LL ซึ่งได้แสดงจุดโดยวิธีของ  $\log t$ , วิธีของ  $\sqrt{t}$  และวิธีของ  $\Delta u$

เมื่อพิจารณาจากรูปกราฟ จะเห็นค่าการกระจายของข้อมูล ทั้ง 3 วิธี โดยวิธีของ  $\log t$  กับวิธีของ  $\sqrt{t}$  ให้ค่าการกระจายของข้อมูลสูงกว่าวิธีของ  $\Delta u$  แต่ทั้ง 3 วิธีจะให้ค่าการกระจายของข้อมูลที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งแนวโน้มหลักของข้อมูล แสดงให้เห็นถึง การเพิ่มขึ้นของค่า LL ที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า  $t_p/H_v^2$  หรือการเพิ่มขึ้นของเวลาสิ้นสุด Primary Consolidation

จากรูปที่ 4.13 พบว่า ค่าของ  $t_p/H_v^2$  ที่ค่าของ LL เดียวกัน วิธีของ  $\Delta u$  ให้ค่าสูง ส่วนวิธีของ  $\log t$  และวิธีของ  $\sqrt{t}$  จะให้ค่าที่ต่ำกว่า แต่วิธีของ  $\log t$  กับวิธีของ  $\sqrt{t}$  ให้ค่าที่ต่างกันน้อย ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ให้ค่าที่แตกต่างจากวิธีของ  $\Delta u$  ค่อนข้างมาก

เราสามารถหาความสัมพันธ์ ในวิธีของ  $\log t$ , วิธีของ  $\sqrt{t}$  และวิธีของ  $\Delta u$  กับค่าของ LL ซึ่งใช้สมการถดถอย จะได้ดังต่อไปนี้ โดยสมการที่ 4.2 เป็นสมการวิธีของ  $\log t$  และวิธีของ  $\sqrt{t}$  เนื่องจากให้ค่าที่แตกต่างกันน้อย, ส่วนสมการที่ 4.3 เป็นสมการวิธีของ  $\Delta u$

$$t_p = (1.753 \cdot LL - 25.295) \cdot H_v^2 \quad (4.2)$$

$$t_p = (1.864 \cdot LL - 21.397) \cdot H_v^2 \quad (4.3)$$

เมื่อ  $t_p$  = เวลาสิ้นสุด Primary Consolidation, (min.)

LL = Liquid Limit, (%)

$H_v$  = ความหนาของชั้นดินที่ระบายน้ำออกทางเดียว (cm.)

สมการที่ได้ข้างต้น จะเห็นว่าความชันของเส้นกราฟ โดยวิธีของ  $\log t$  และวิธีของ  $\sqrt{t}$  จะมีความชันใกล้เคียงกับวิธีของ  $\Delta u$  แสดงว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาสิ้นสุด Primary Consolidation จะขึ้นอยู่กับค่าของ LL โดยไม่ขึ้นอยู่กับวิธีการ

#### 4.2.4 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ Coefficient of Secondary Compression ( $C_\alpha$ )

จากรูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Coefficient of Secondary Compression ( $C_\alpha$ ) กับค่าของ LL เมื่อพิจารณาของค่า LL ที่อยู่ในช่วง 40-100% จะแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยที่กลุ่มแรก (4 ตัวอย่าง) จะมีค่าของ  $C_\alpha$  อยู่ระหว่าง 0.40-0.60 ซึ่งเป็นดินเหนียวจำพวกที่มีรากพืชปนอยู่มาก

ส่วนกลุ่มที่สอง (3 ตัวอย่าง) ค่าของ  $C_\alpha$  อยู่ระหว่าง 0.30-0.35 เป็นดินเหนียวจำพวกที่มีเศษเปลือกหอยปนอยู่ ดังนั้นจะสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อดินเหนียวที่มีค่าของ LL ใกล้เคียงกัน แต่มีจำพวกซากพืชปนอยู่ จะให้ค่าของ  $C_\alpha$  สูงกว่าดินที่มีเศษเปลือกหอยปนอยู่
2. อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า  $C_\alpha$  ต่อเปอร์เซ็นต์ของค่า LL ของดินที่มีจำพวกซากพืชปนอยู่ จะสูงกว่าดินที่มีเศษเปลือกหอยปนอยู่

เมื่อเปรียบเทียบค่าของ  $C_\alpha$  กับค่าของ LL ในรูปที่ 4.14 จะเห็นว่า ค่าของ  $C_\alpha$  ในกลุ่มที่สอง มีค่าสูงกว่า ค่าของ  $C_\alpha$  ในช่วงของค่า LL ต่ำ คือมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า  $C_\alpha$  เมื่อค่าของ LL เพิ่มขึ้น ซึ่งพอสรุปออกมาเป็นสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$C_\alpha = 0.005 \cdot LL \quad \text{-----} (4.4)$$

เมื่อ  $C_\alpha$  = Coefficient of Secondary Compression, (%strain/ $\Delta \log t$ )

LL = Liquid Limit, (%)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินเหนียวต่อค่าของ  $C_\alpha$  นั้น ได้มีผู้สรุปผลความสัมพันธ์ไว้ ดังนี้ คือ

KATTI และ SONPOL (1967) ได้กล่าวว่า เมื่อปริมาณแร่ดินเหนียวสูงขึ้นหรือค่าของ LL เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มที่จะให้ค่าของ  $C_\alpha$  สูงขึ้น

LADD และ PRESTON (1965) สรุปว่า แฟคเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อค่าของ  $C_\alpha$  คือ การยุบตัวของดิน และหน่วยแรงในอดีต

#### 4.2.5 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ Vertical Effective Stress ( $\sigma'_{vc}$ ) กับ Strain

ในรูปที่ 4.15 เป็นกราฟที่แสดงถึง การเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงประสิทธิผลการอัดตัวคายน้ำในแนวตั้ง ( $\sigma'_{vc}$ ) กับ Strain เมื่อค่าของ PI เท่ากับ 69.59% จะเห็นว่าเส้นกราฟอยู่ต่ำสุด และอัตราการเพิ่มขึ้นของ  $\sigma'_{vc}$  ต่อเปอร์เซ็นต์ Strain น้อยมาก ในช่วงของค่า Strain ต่ำๆ และจะมีการเพิ่มมากขึ้นในช่วงของค่า Strain สูงๆ โดยที่รูปกราฟจะเป็นเส้นโค้งแบบพาราโบลา ที่ค่อนข้างแบน แต่เมื่อค่าของ PI มีค่าต่ำลง

อัตราการเพิ่มขึ้นของ  $\sigma'_{vc}$  ต่อเปอร์เซ็นต์ Strain ก็จะสูงขึ้น ลักษณะเส้นกราฟยังเป็นรูปพาราโบลา แต่มีความลาดชันมากขึ้น และเมื่อค่าของ PI เท่ากับ 23.58% ลักษณะเส้นกราฟเกือบจะเป็นเส้นตรง โดยที่จะมีความลาดชันสูงสุด เมื่อพิจารณาที่ ค่าของ  $\sigma'_{vc}$  เดียวกัน เปอร์เซ็นต์ Strain ของค่า PI สูงจะมีค่ามากกว่าของค่า PI ต่ำ

ฉะนั้น จึงกล่าวได้ว่า การที่ค่าของ PI ลดลง จะทำให้เกิดอัตราการเพิ่มขึ้นของ  $\sigma'_{vc}$  ต่อเปอร์เซ็นต์ Strain มากขึ้น หรือ ค่าของ PI แปรผกผันกับอัตราการเพิ่มขึ้นของ  $\sigma'_{vc}$  ต่อเปอร์เซ็นต์ Strain

#### 4.2.6 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ Coefficient of Consolidation ( $C_v$ )

ในรูปที่ 4.16 แสดงค่าความสัมพันธ์ของ  $C_v$  กับค่าของ PI ซึ่งในการหาค่าของ  $C_v$  โดยวิธีของ  $\log t$  กับวิธีของ  $\sqrt{t}$  เมื่อพิจารณาแต่ละค่าของ PI จะเห็นว่า ค่าของ  $C_v$  ในวิธีของ  $\log t$  ให้ค่าสูงกว่าวิธีของ  $\sqrt{t}$  แต่ค่าส่วนมากของทั้ง 2 วิธี มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าดินมีพฤติกรรมตามสมมุติฐานทางทฤษฎีของ TERZAGHI (1943) ก่อนข้างถูกต้อง

เมื่อสังเกตรูปกราฟ จะเห็นว่าข้อมูลนั้นมีการกระจายสูง แต่แนวโน้มแสดงออกถึงการเพิ่มขึ้นของค่า PI มีผลทำให้ค่าของ  $C_v$  ลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ วัฒนา (1983) ที่กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของค่า PI มีผลทำให้ค่าของ  $C_v$  ลดลง พอสรุปได้ในรูปสมการ ดังนี้

$$C_v = -0.002 \cdot PI + 0.135 \quad \text{-----} (4.5)$$

เมื่อ  $C_v$  = Coefficient of Consolidation, ( $\text{cm}^2/\text{min}$ )

PI = Plastic Index, (%)

#### 4.2.7 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ $p'$ กับ $q$

รูปที่ 4.17 เป็นทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล โดยการเขียนกราฟระหว่าง  $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$  กับ  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$  จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงในดิน ในระหว่างการทดลองหาค่า  $K_0$  ของตัวอย่างดิน ทั้ง 10 ตัวอย่าง เมื่อพิจารณาเส้นกราฟแต่ละเส้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกัน จะได้ว่า หลังจากเพิ่มน้ำหนักคงที่ให้กับตัวอย่างดิน ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล จะเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ ในช่วงของ Excess Pore Water Pressure ( $\Delta u$ ) > 0 เมื่อ  $\Delta u$  เข้าใกล้ศูนย์ การเพิ่มขึ้นจะลดลง และ  $\Delta u = 0$  จะได้จุดสูง



สุดของทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (จุดที่  $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$  มีค่าสูงสุด) หรือหน่วยแรงเฉือนสูงสุด จากนั้น ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล จะลดลงอย่างคงที่ ในช่วง  $\Delta u = 0$

จากกราฟทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 จะทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลสูงกว่ากลุ่มที่ 2 โดยที่กลุ่มที่ 1 เป็นดินบริเวณกรุงเทพฯ ดอนบน มีค่าของ PI ต่ำ ส่วนกลุ่มที่ 2 เป็นดินบริเวณกรุงเทพฯ ดอนล่าง มีค่าของ PI สูง ฉะนั้นดินที่มีค่าของ PI ต่ำจะรับแรงเฉือนได้ดีกว่าดินที่มีค่าของ PI สูง

#### 4.2.8 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของค่า $K_0$ กับ $t/t_p$

การทดลองนี้ใช้ตัวอย่างดิน 10 ตัวอย่าง เพื่อที่จะได้ค่าของ PI ให้ครอบคลุมถึงช่วงระหว่าง 20-70% โดยที่กราฟรูปที่ 4.18-4.27 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ  $K_0$  กับ  $t/t_p$  ของแต่ละตัวอย่างดิน ซึ่งจะพิจารณา 2 วิธี คือ วิธีของ  $\log t$  กับวิธีของ  $\Delta u$

จากรูปกราฟทั้ง 10 รูป ไม่ว่าจะ เป็นวิธีของ  $\log t$  และวิธีของ  $\Delta u$  จะให้ค่าของ  $K_0$  เพิ่มขึ้นตามเวลา เมื่อพิจารณา ในช่วงของค่า PI สูง (ประมาณ 50-70%) วิธีของ  $\Delta u$  จะให้การกระจายของข้อมูลต่ำกว่าวิธีของ  $\log t$  ส่วนในช่วงของค่า PI ต่ำ (ประมาณ 25-50%) ทั้งสองวิธีจะมีการกระจายของข้อมูลต่ำมาก คือค่าของ  $r^2$  ในกราฟรูปที่ 4.18-4.27 มีค่าอยู่ประมาณ 0.94-0.99 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์

เส้นกราฟของค่า  $K_0$  โดยวิธีของ  $\Delta u$  จะอยู่เหนือเส้นกราฟของวิธีของ  $\log t$  เนื่องจากว่าค่าของ  $t_p$  ของวิธี  $\Delta u$  มีค่ามากกว่าค่าของ  $t_p$  ของวิธี  $\log t$  และสังเกตเห็นว่า ความชันของเส้นกราฟ มีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่าจะเป็นวิธีของ  $\Delta u$  กับวิธีของ  $\log t$  และสมการที่แสดงการเพิ่มของค่า  $K_0$  แต่ละตัวอย่างดินได้แสดงอยู่ในรูปกราฟที่ 4.18-4.27

#### 4.2.9 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของอัตราการเพิ่มของค่า $K_0$ ต่อเวลากับค่าของ PI

ในรูปกราฟที่ 4.28 จะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า  $K_0$  กับเวลา ในวิธีของ  $\Delta u$  จะให้ค่าค่อนข้างต่ำกว่า วิธีของ  $\log t$  หรือสังเกตจากกราฟรูปที่ 4.18-4.27 ซึ่งวิธีของ  $\Delta u$  และวิธีของ  $\log t$  มีค่าความแตกต่างกันน้อย โดยแสดงในตารางที่ 4.2

จากรูปกราฟเมื่อพิจารณาโดยรวม แสดงให้เห็นแนวโน้มที่ชัดเจนว่า เมื่อค่าของ PI เพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า  $K_o$  กับเวลา จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากกราฟ เราสามารถหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการได้ โดยใช้สมการถดถอย (Regression) เนื่องจากการกระจายของข้อมูลต่ำ ดังนั้นเส้นกราฟที่ได้จะมีเพียงเส้นเดียว

สมการที่ 4.6 เป็นสมการที่ได้จากวิธีของ  $\Delta u$  และวิธีของ  $\log t$  ซึ่งเป็นการประมาณค่าของ PI ในช่วง 20-70%

$$\nabla K_o = 0.0037 \cdot PI - 0.038 \quad \text{-----} (4.6)$$

เมื่อ  $\nabla K_o =$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า  $K_o$  กับเวลา,  $(\Delta K_o / \Delta \log(t/t_p))$

PI = Plastic Index, (%)

เราอาจจะเขียนอยู่ในรูปของค่า  $K_o(t)$  ที่เวลาใดๆ เมื่อ  $t \geq t_p$

$$K_o(t) = K_o(NC) + (0.0037 \cdot PI - 0.038) \cdot \log(t/t_p) \quad \text{---} (4.7)$$

เมื่อ  $K_o(NC) =$  สมการที่ 2.3 และ 2.4

#### 4.2.10 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ $K_o(NC)$

กราฟที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4.29 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_o(NC)$  กับค่าของ PI ณ เวลาสิ้นสุด Primary Consolidation โดยที่ทำการเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธี ( $\log t$ ,  $\sqrt{t}$  และ  $\Delta u$ ) เมื่อเปรียบเทียบที่ค่าของ PI เดียวกัน จะเห็นว่าค่าของ  $K_o(NC)$  โดยวิธีของ  $\log t$  กับ  $\sqrt{t}$  มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เทียบกับวิธีของ  $\Delta u$  จะมีค่าของ  $K_o(NC)$  ต่ำกว่า

จากรูปกราฟ เมื่อเปรียบเทียบค่าของ  $K_o(NC)$  โดยวิธีของ  $\Delta u$  กับสมการที่ 2.3 และ 2.4 (สมการของ BROOKER กับ IRELAND) ส่วนมากค่าของ  $K_o(NC)$  จะมีค่าสูงกว่าค่าของสมการที่ 2.3 และ 2.4 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) ประมาณ 6% สำหรับค่าของ  $K_o(NC)$  โดยวิธีของ  $\log t$  จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานประมาณ 8% ส่วนวิธีของ  $\sqrt{t}$  จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานประมาณ 9% จากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะเห็นว่าการกระจายของข้อมูลโดยวิธีของ  $\Delta u$  จะมีค่าต่ำสุด แต่ทั้ง 3 วิธีให้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานไม่เกิน 10%

ซึ่งวิธีทั้ง 3 ให้ค่าของ  $K_o(NC)$  สูงกว่าสมการที่ 2.6 (สมการของ ALPAN) สรุปโดยรวมสมการที่ 2.3 และ 2.4 เป็นสมการที่ประมาณค่าของ  $K_o$  ของดินประเภท NC ได้ดี ส่วนสมการที่ 2.6 จะให้ค่าของ  $K_o(NC)$  ที่ต่ำเกินไป

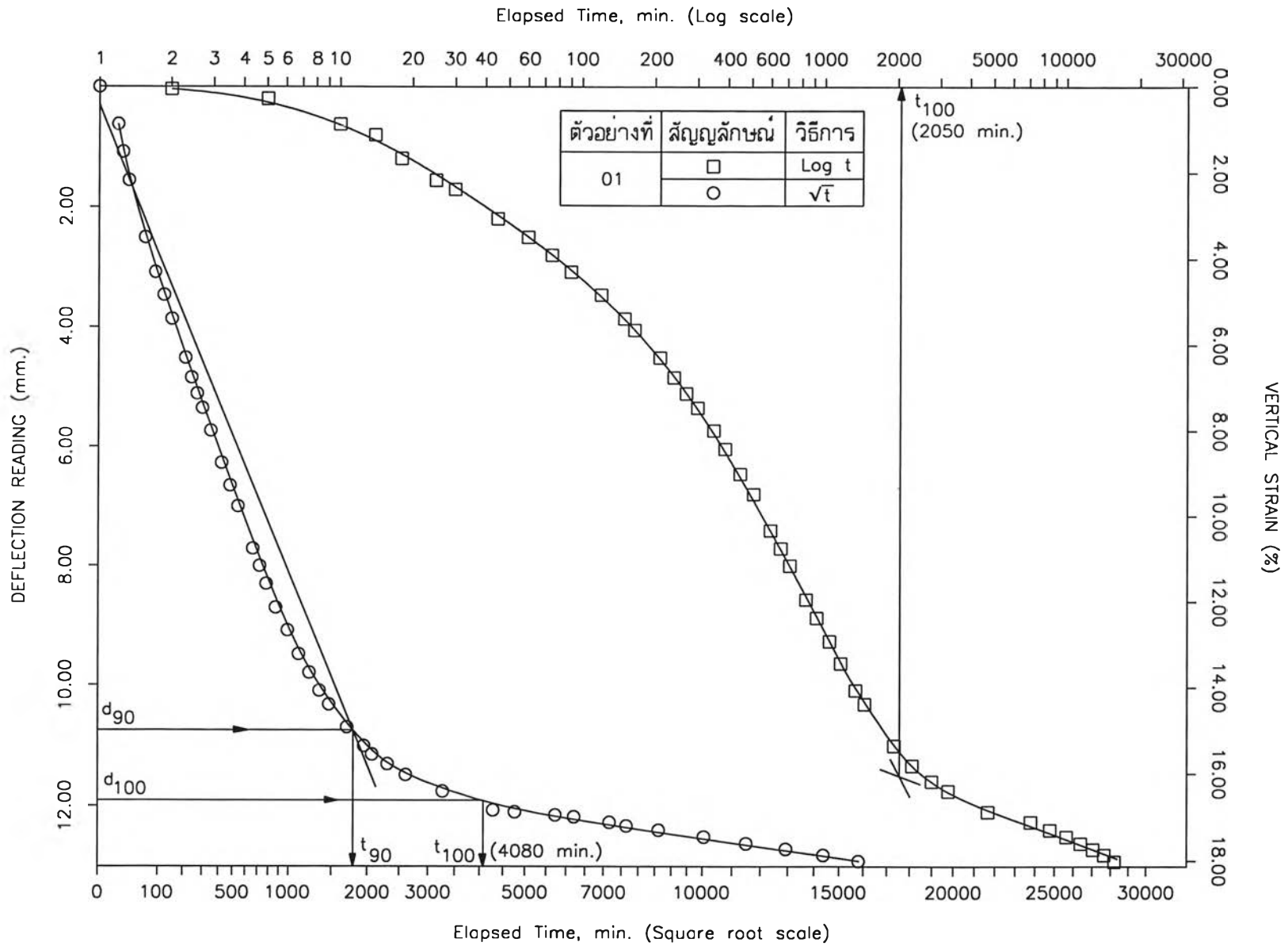
#### 4.2.11 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ $K_o(OCR)/K_o(NC)$ กับ OCR

เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง  $K_o(OCR)/K_o(NC)$  กับ OCR หรือค่าพารามิเตอร์  $m$  ดังในรูปที่ 4.30 ซึ่งในการทดลองนี้จะเป็นการหาค่าพารามิเตอร์  $m$  ที่เกิดจากการ Aging แต่โดยทั่วไปแล้ว การหาค่าพารามิเตอร์  $m$  จะทำโดยวิธีการลดแรงที่กระทำลง เพื่อให้เป็นดิน OCR ซึ่งค่าที่ได้จากการทำทั้ง 2 วิธีนี้ มีค่าพารามิเตอร์  $m$  มีค่าใกล้เคียงกัน

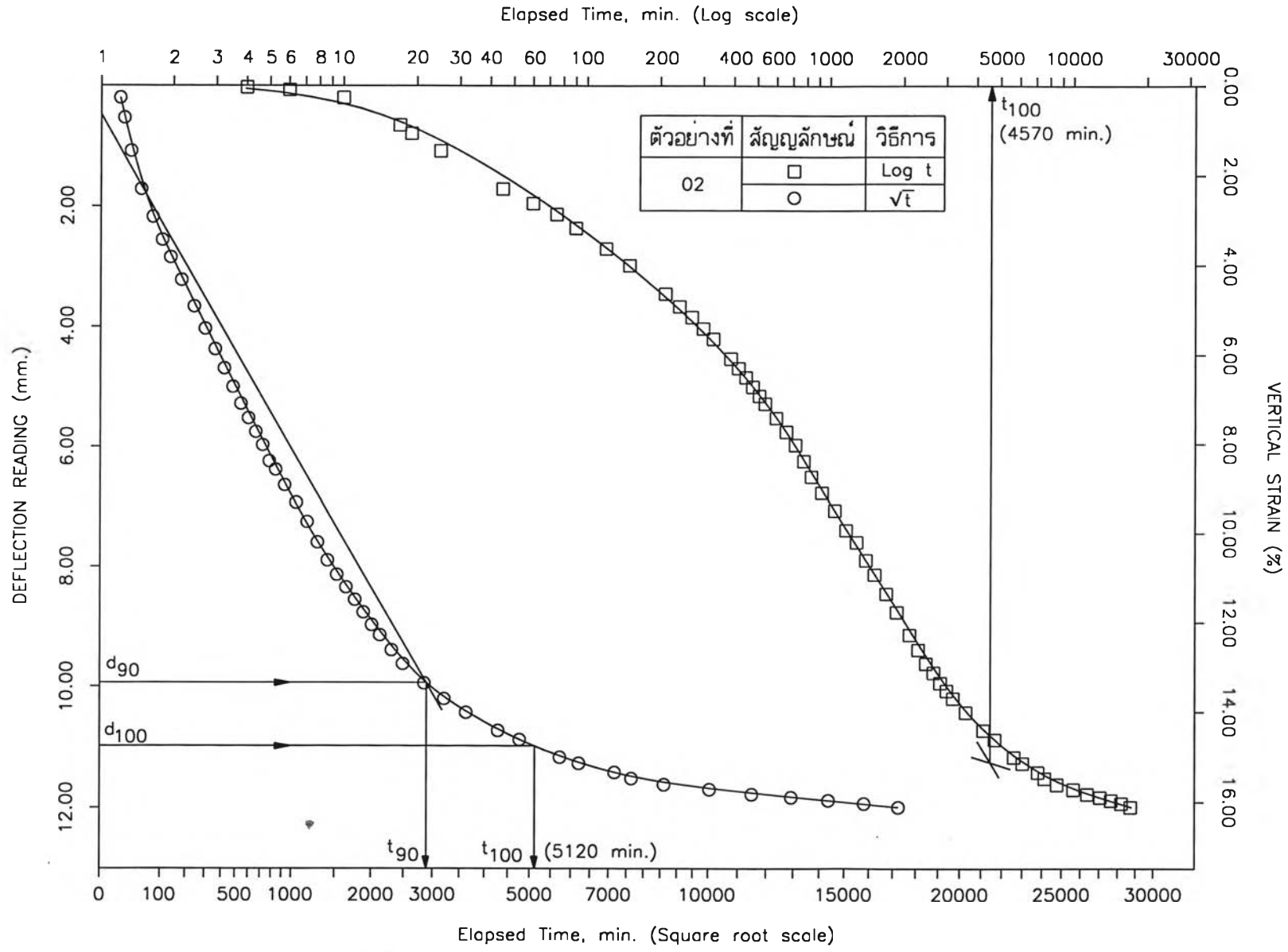
เมื่อพิจารณาค่าของ PI ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์  $m$  สูงขึ้นตาม แต่การทดลองนี้เป็นช่วงเวลาที่ค่อนข้างสั้น จากกราฟซึ่งใช้สมการถดถอย หาค่าพารามิเตอร์  $m$  ที่ได้มีค่าประมาณเท่ากับ 0.40 แสดงว่า โดยเฉลี่ยดินเหนียวบริเวณกรุงเทพฯ จะมีค่าพารามิเตอร์  $m = 0.40$

ดังนั้น เราสามารถเขียนสมการที่ 2.5 ได้ใหม่ ซึ่งแสดงอยู่ในสมการที่ 4.8

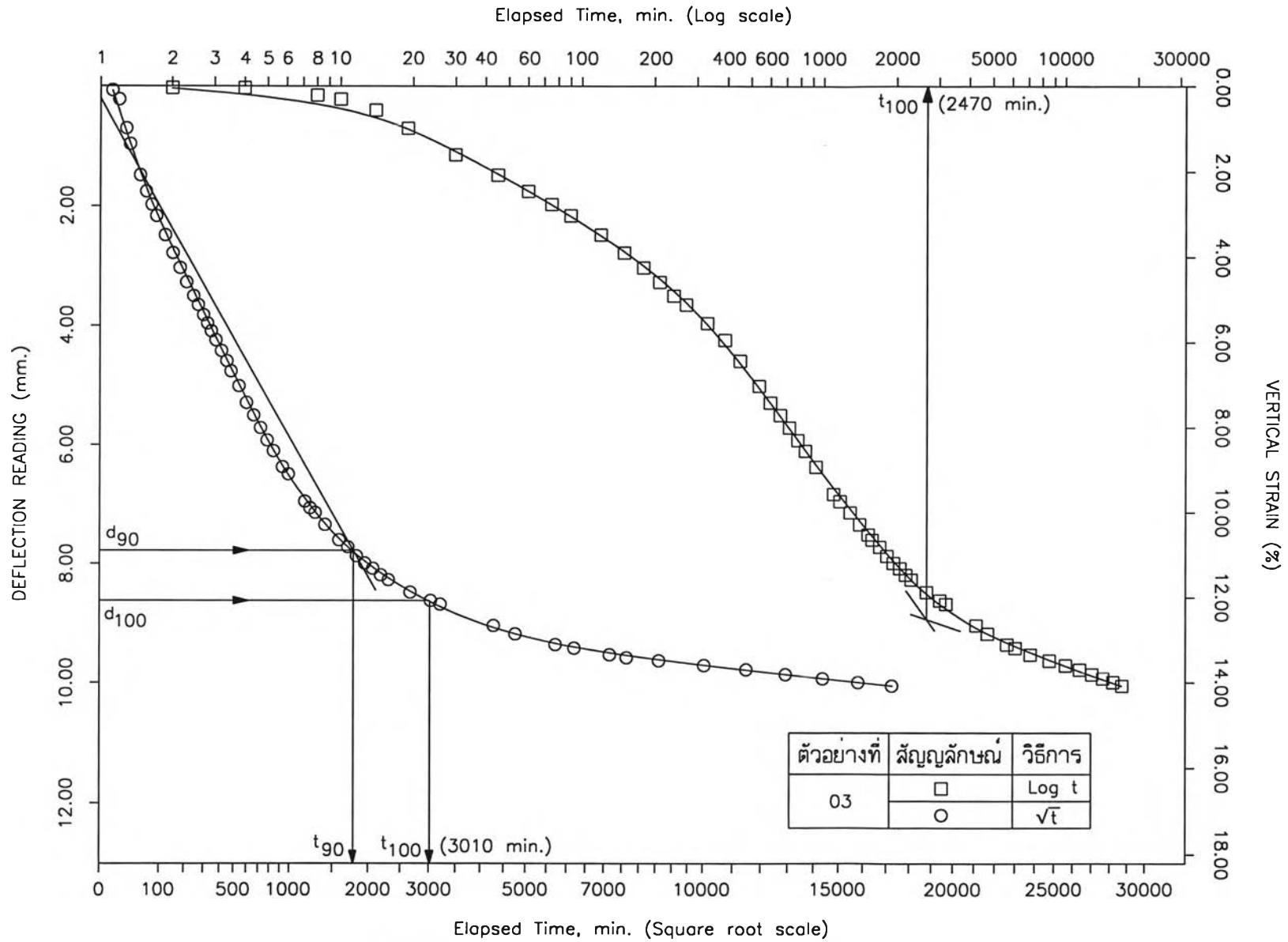
$$K_o(\text{overconsolidated}) = K_o(\text{normally consolidated})(OCR)^{0.40} \quad (4.8)$$



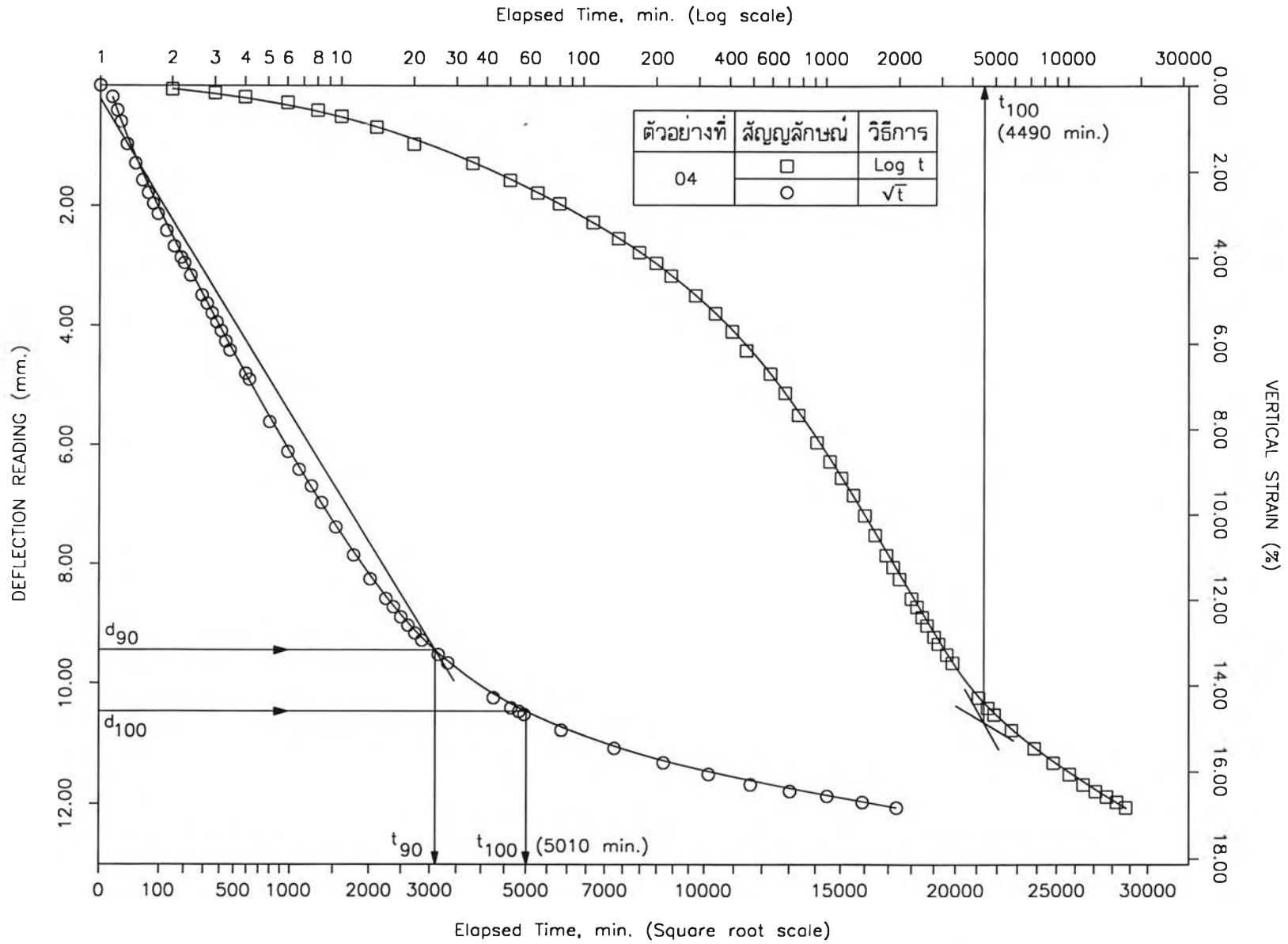
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 1 มีค่าของ PI เท่ากับ 69.59%



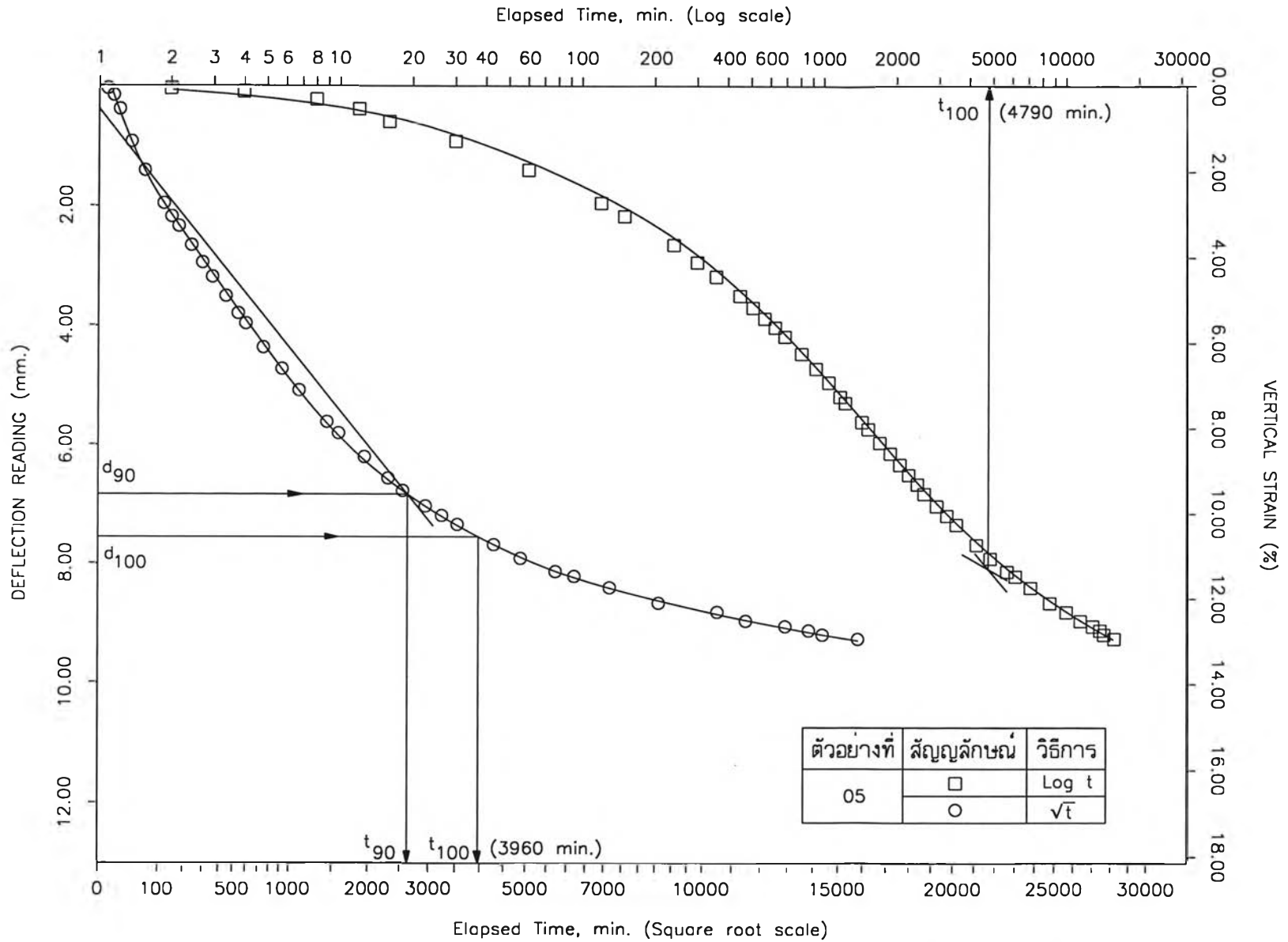
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 2 มีค่าของPI เท่ากับ 62.05%



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 3 มีค่าของ PI เท่ากับ 53.22%

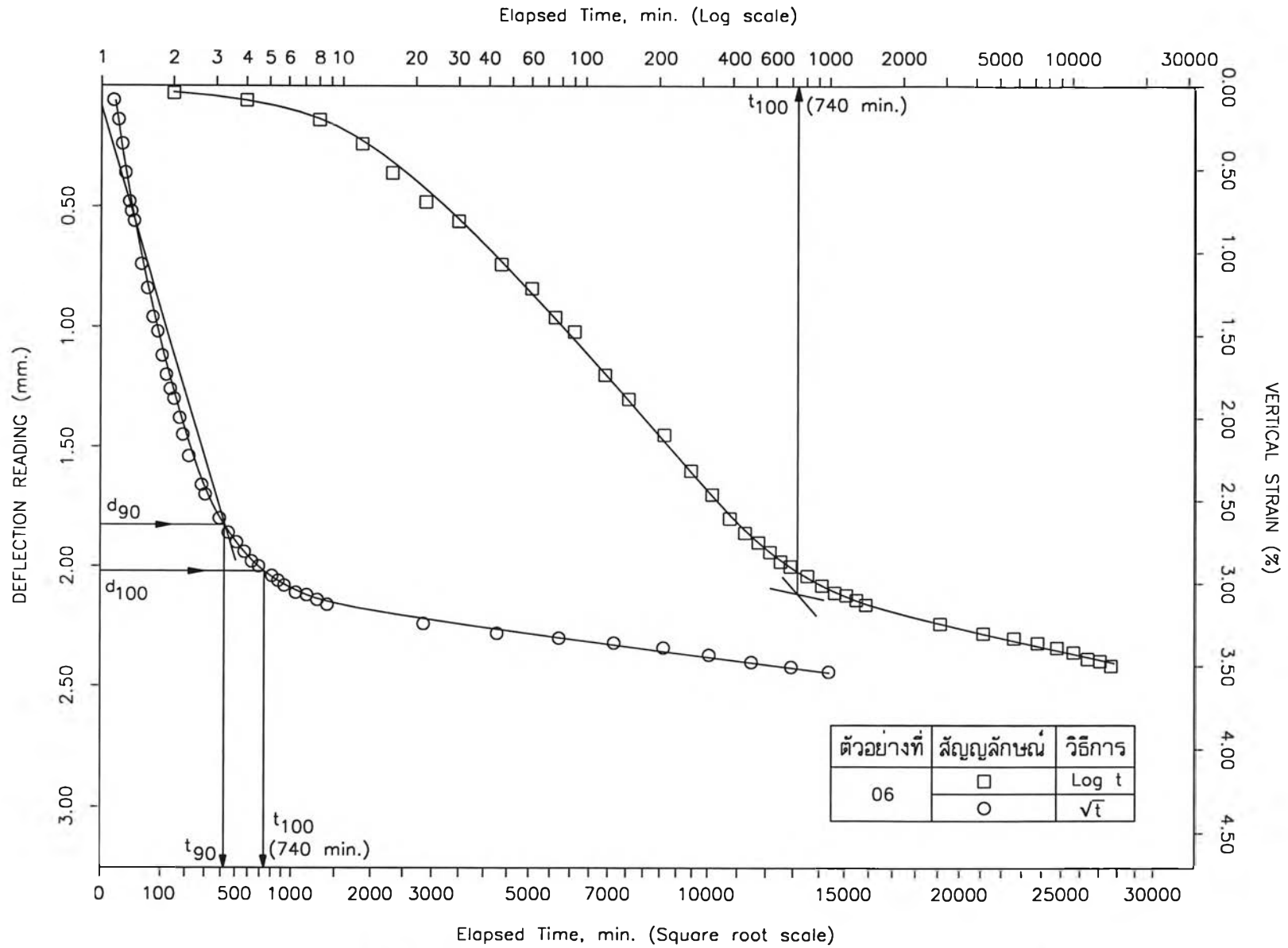


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 4 มีค่าของ PI เท่ากับ 64.92%

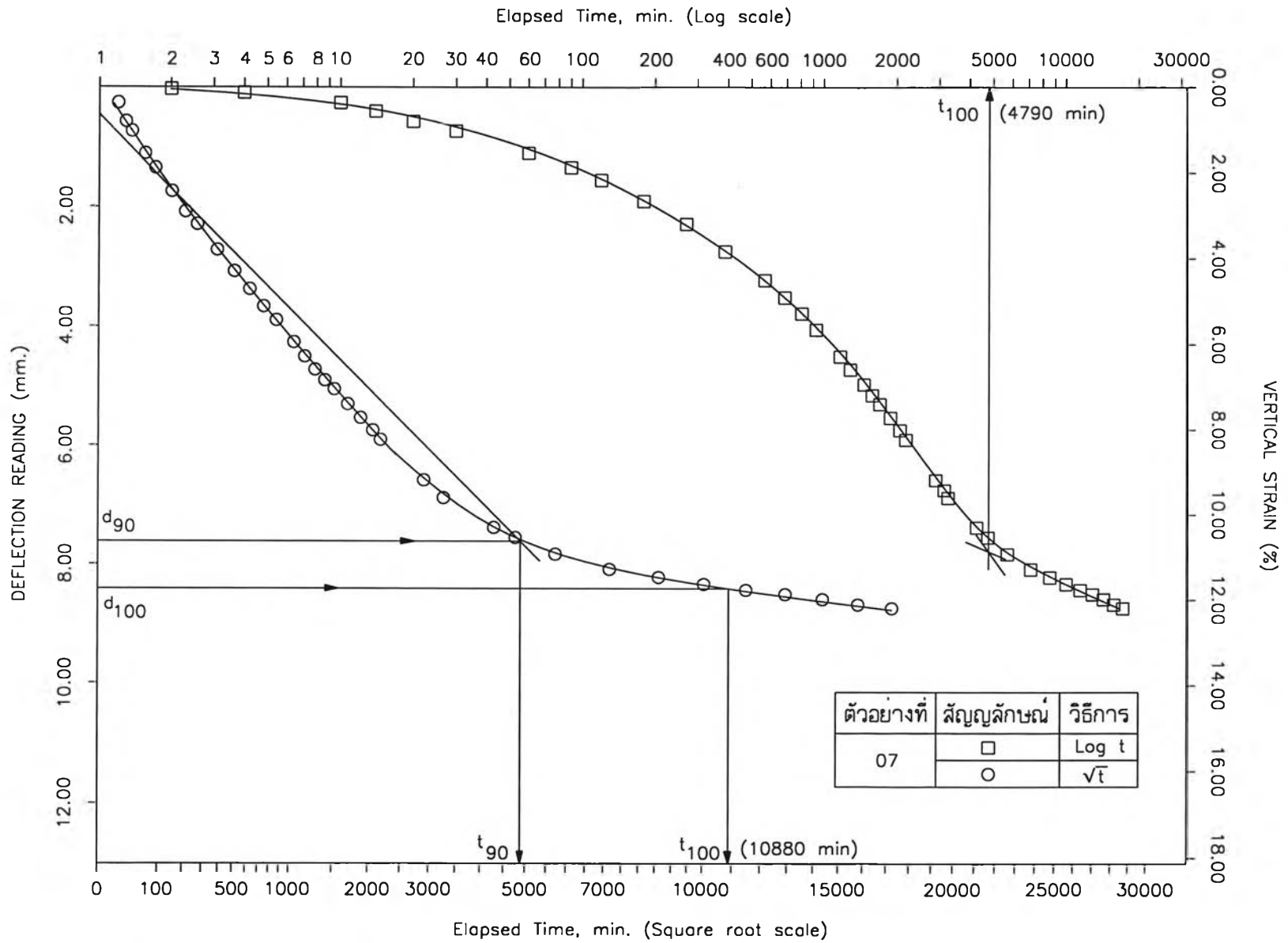


รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 5 มีค่าของPI เท่ากับ 50.54%

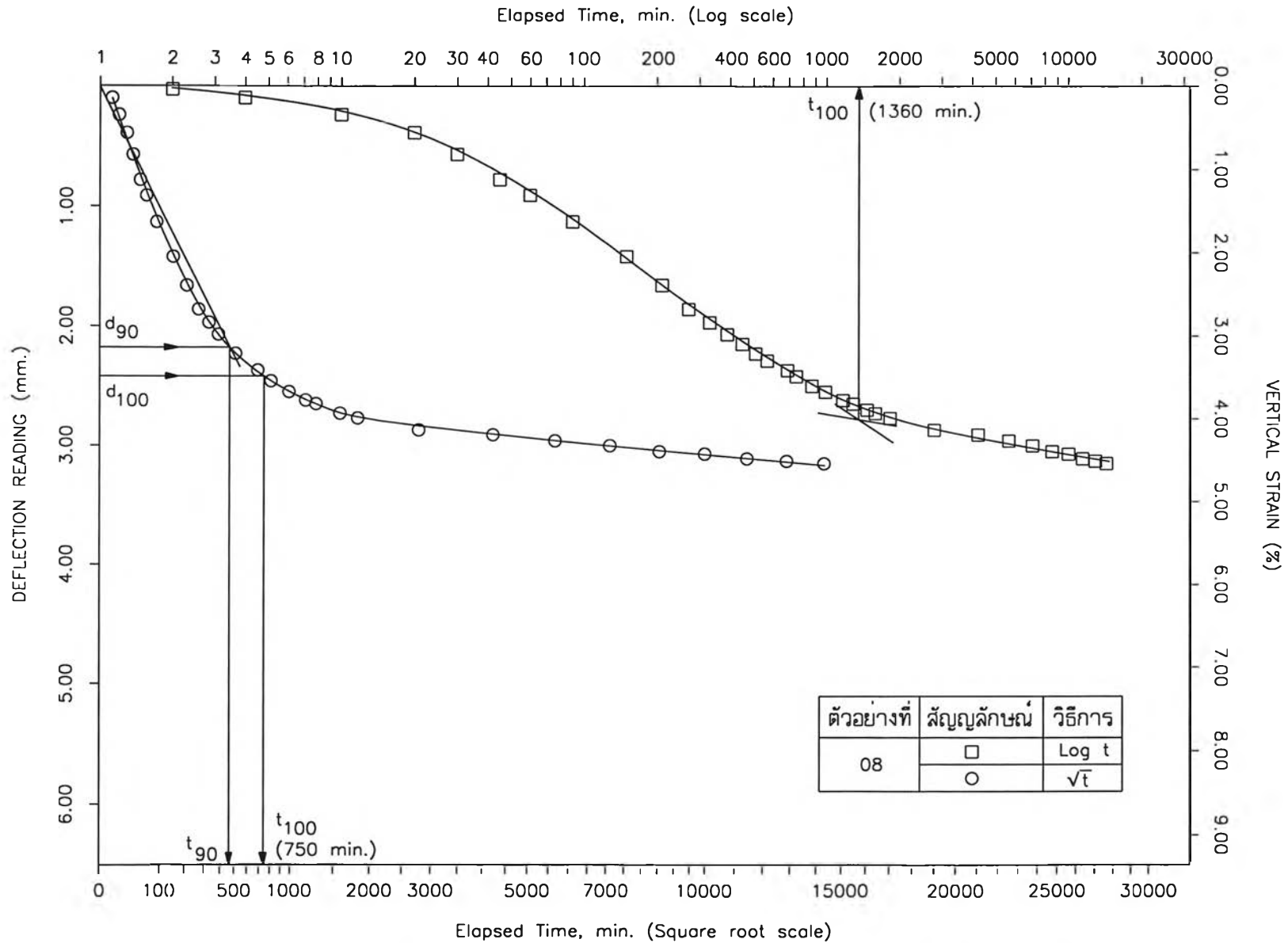




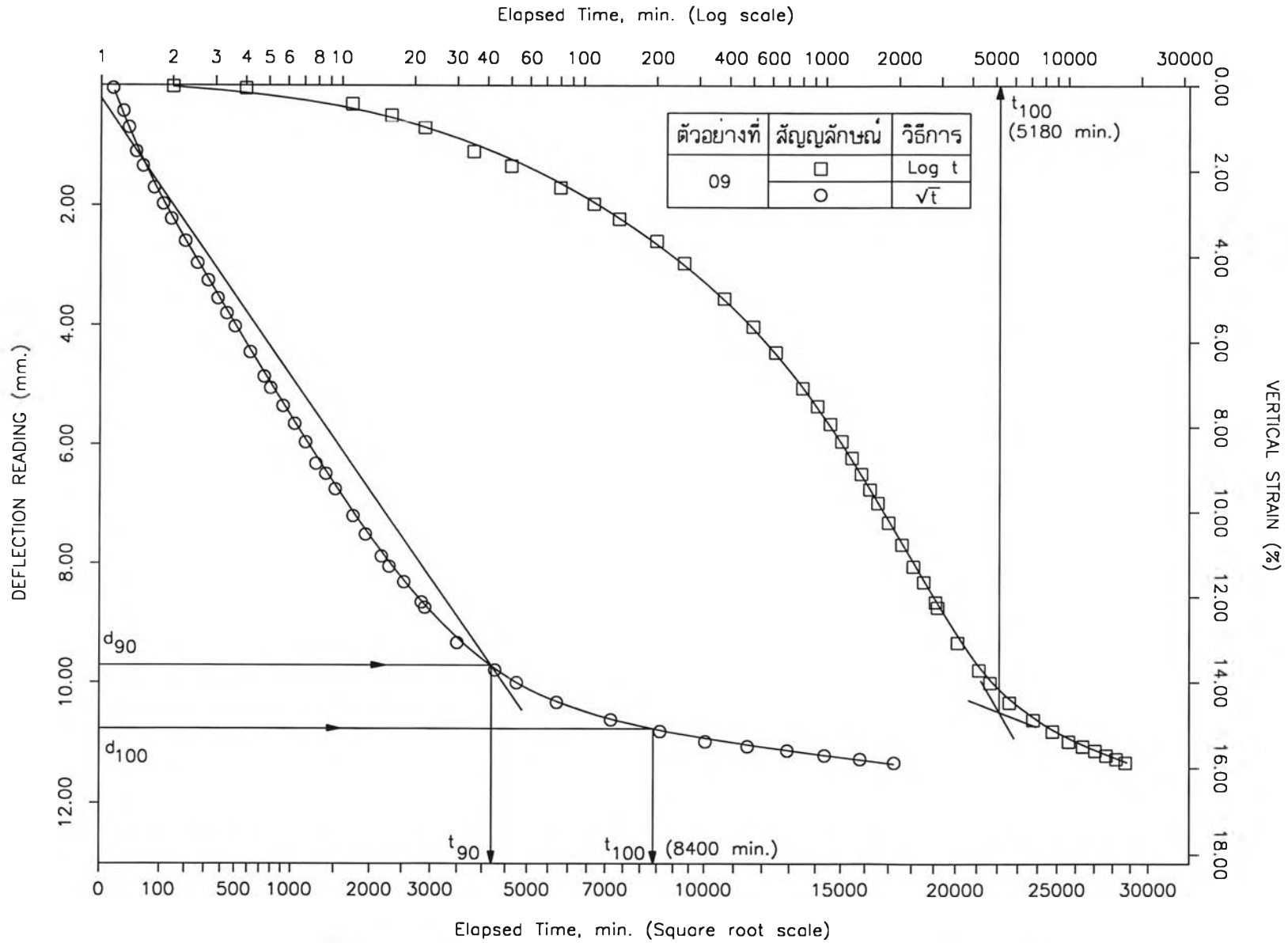
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 6 มีค่าของ PI เท่ากับ 28.40%



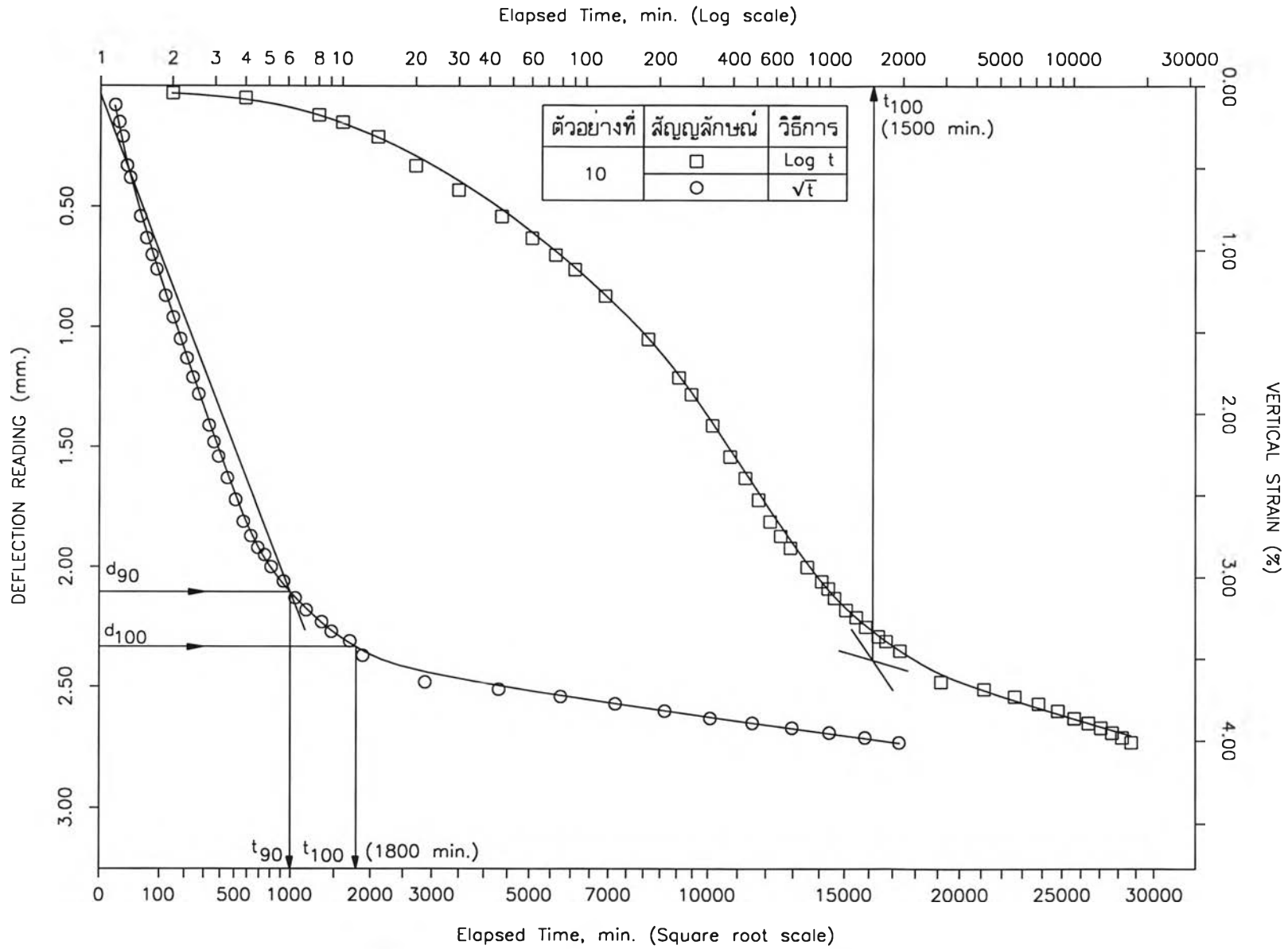
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 7 มีค่าของPIเท่ากับ48.35%



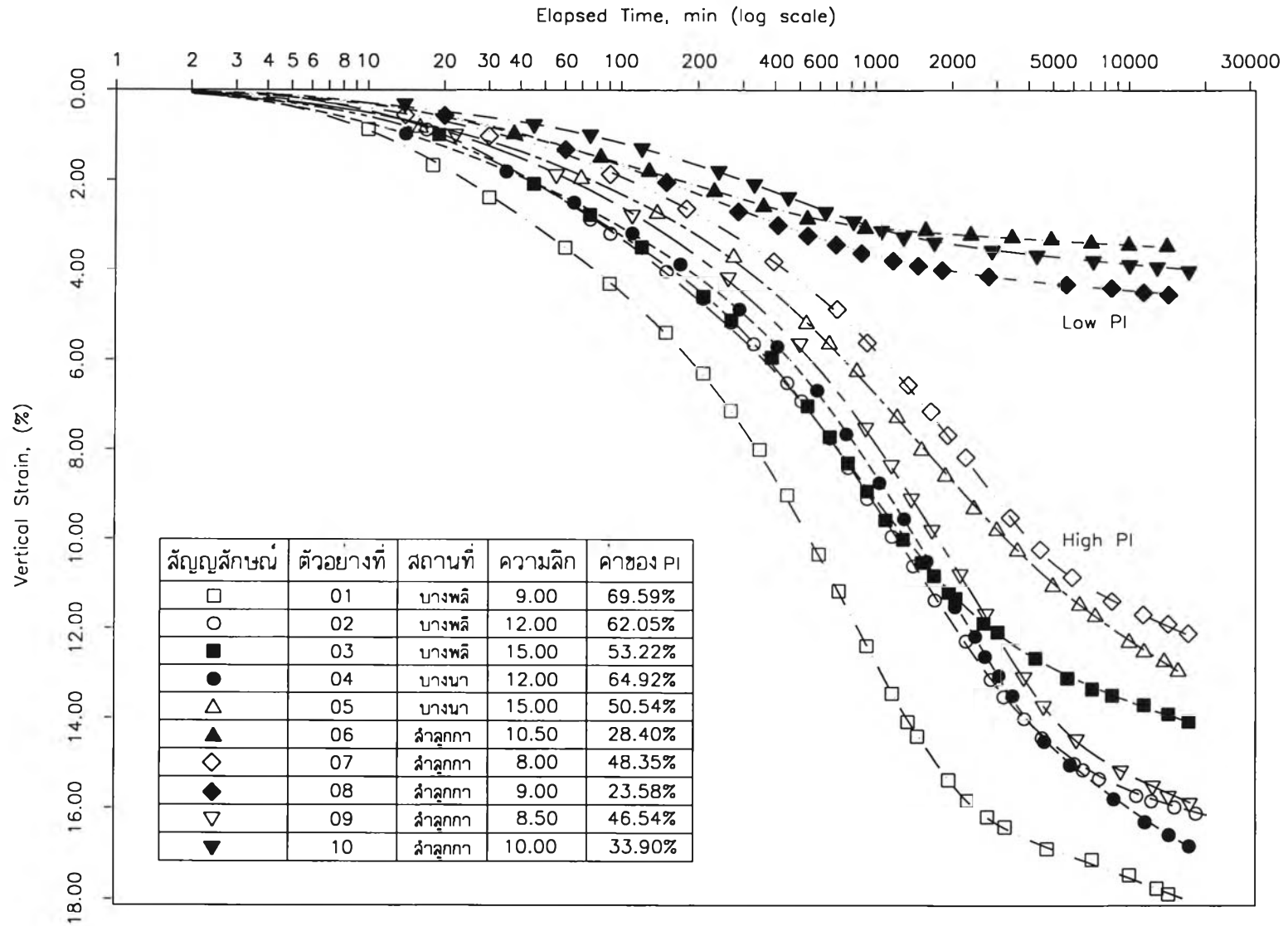
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 8 มีค่าของ PI เท่ากับ 23.58%



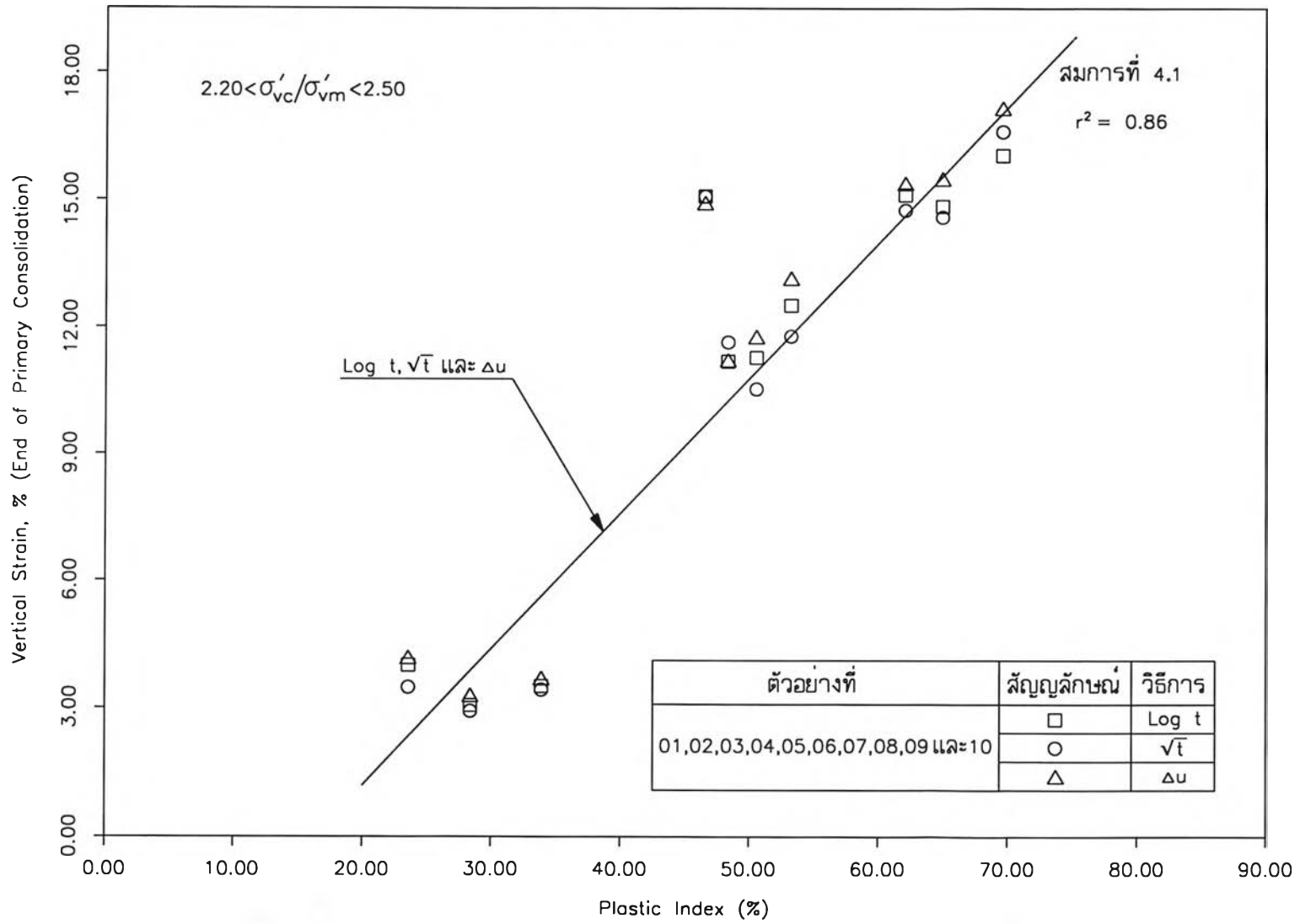
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 9 มีค่าของ PI เท่ากับ 46.54%



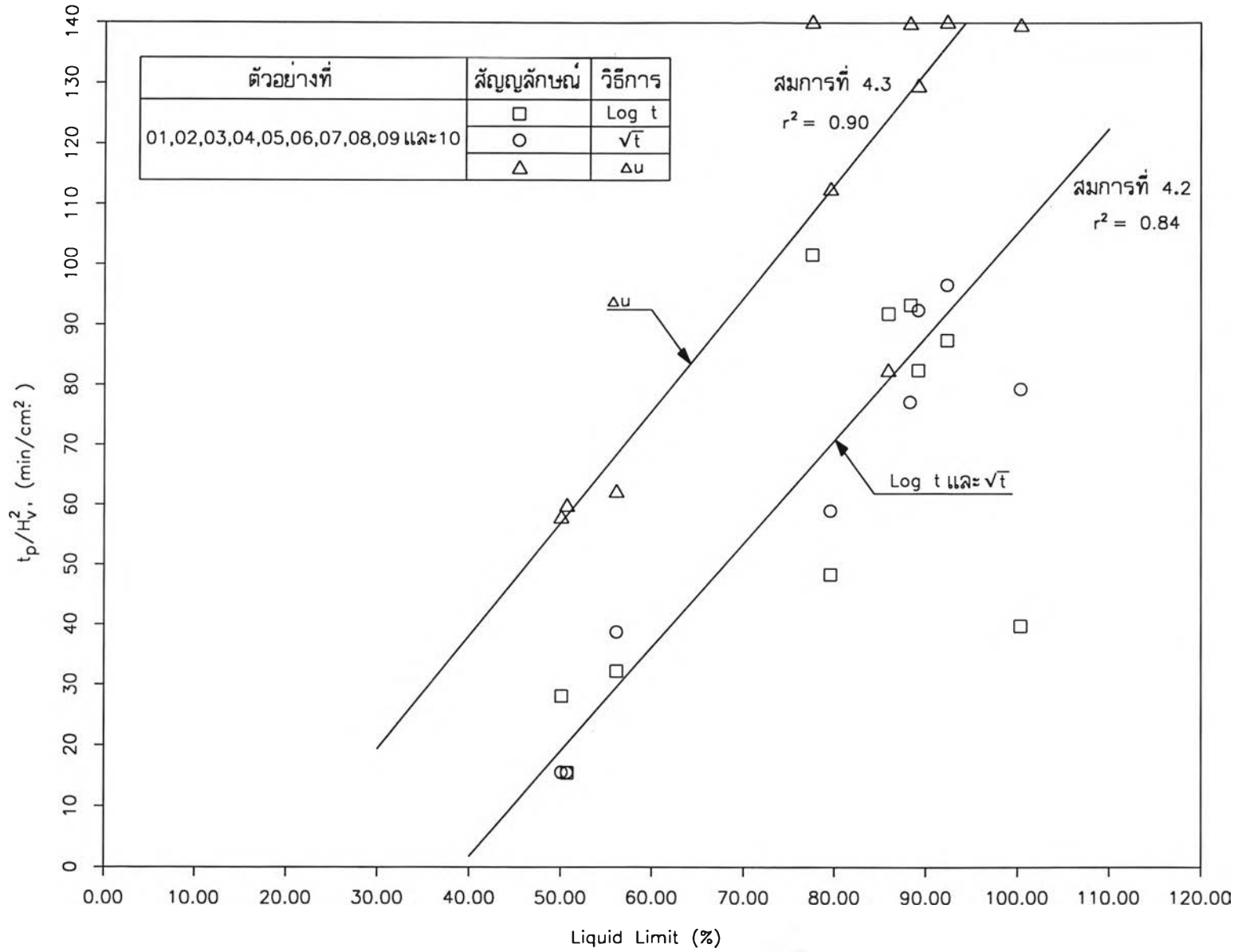
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 10 มีค่าของ PI เท่ากับ 33.90%



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวดิ่ง กับเวลา ของค่า PI ต่างๆ

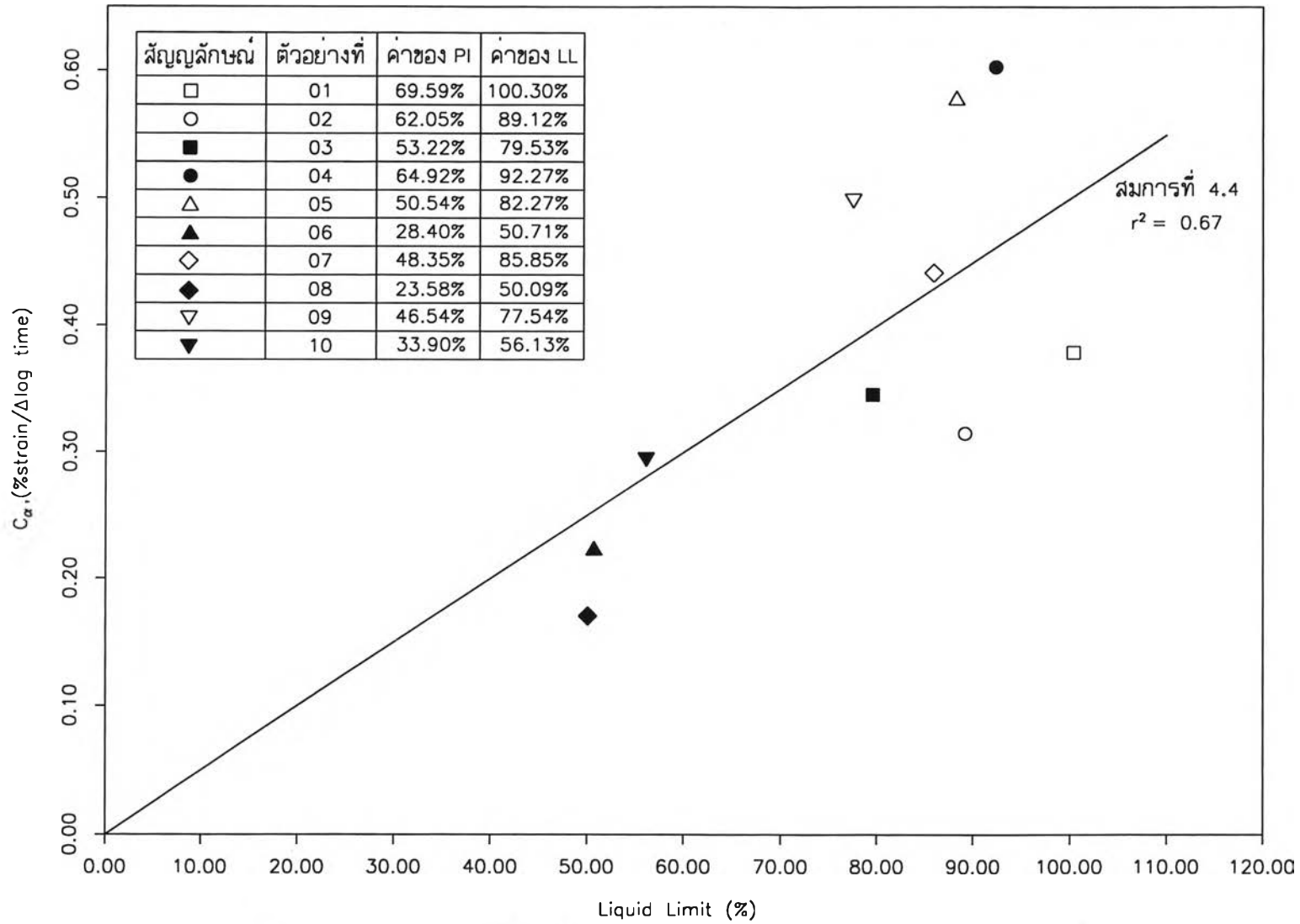


รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง ณ. เวลาสิ้นสุด Primary Consolidation กับค่าของ PI ด้วยวิธีของ Log t,  $\sqrt{t}$  และ  $\Delta u$

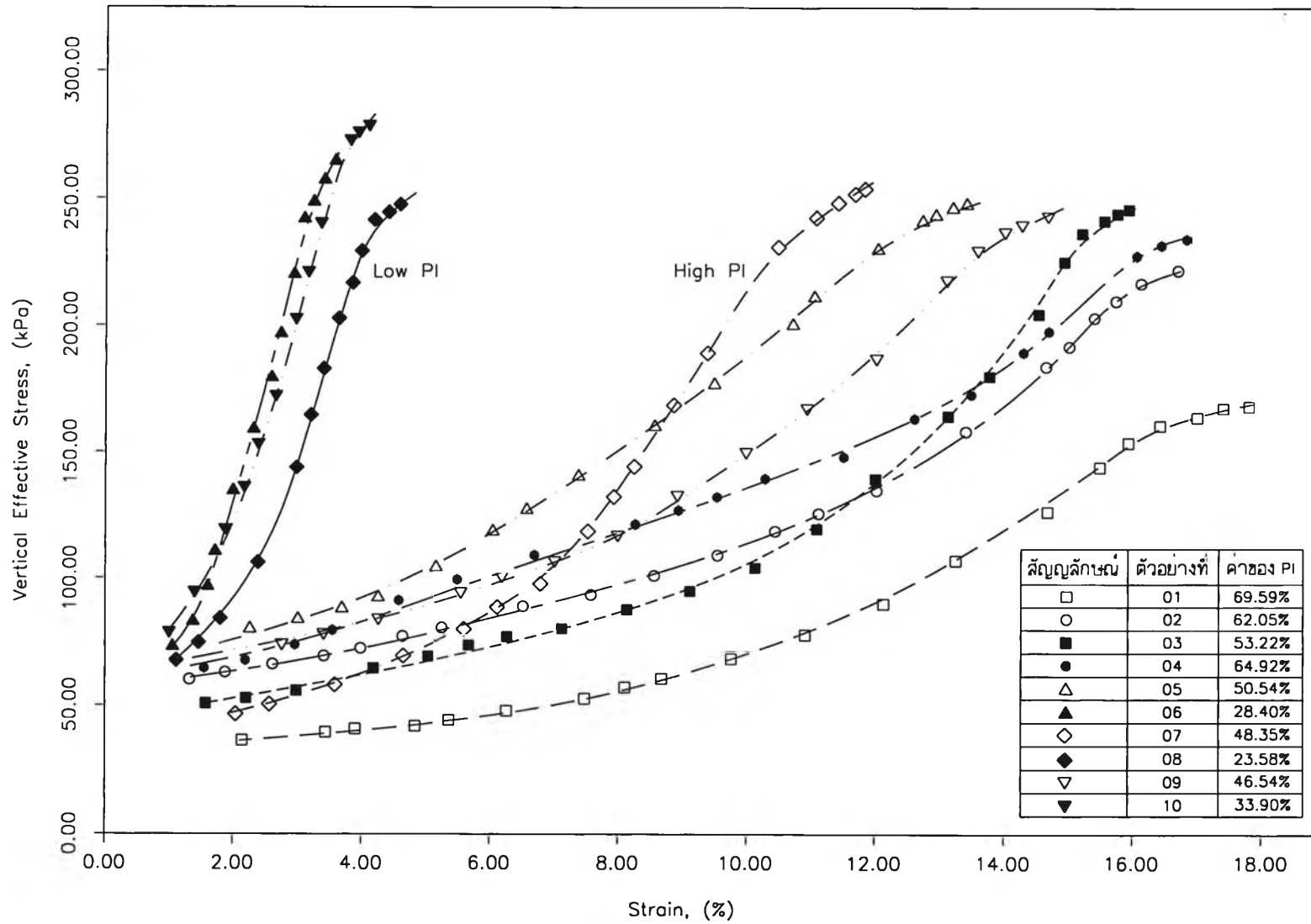


รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $t_p/H_v^2$  กับค่าของ LL ด้วยวิธีของ Log t,  $\sqrt{t}$  และ  $\Delta u$

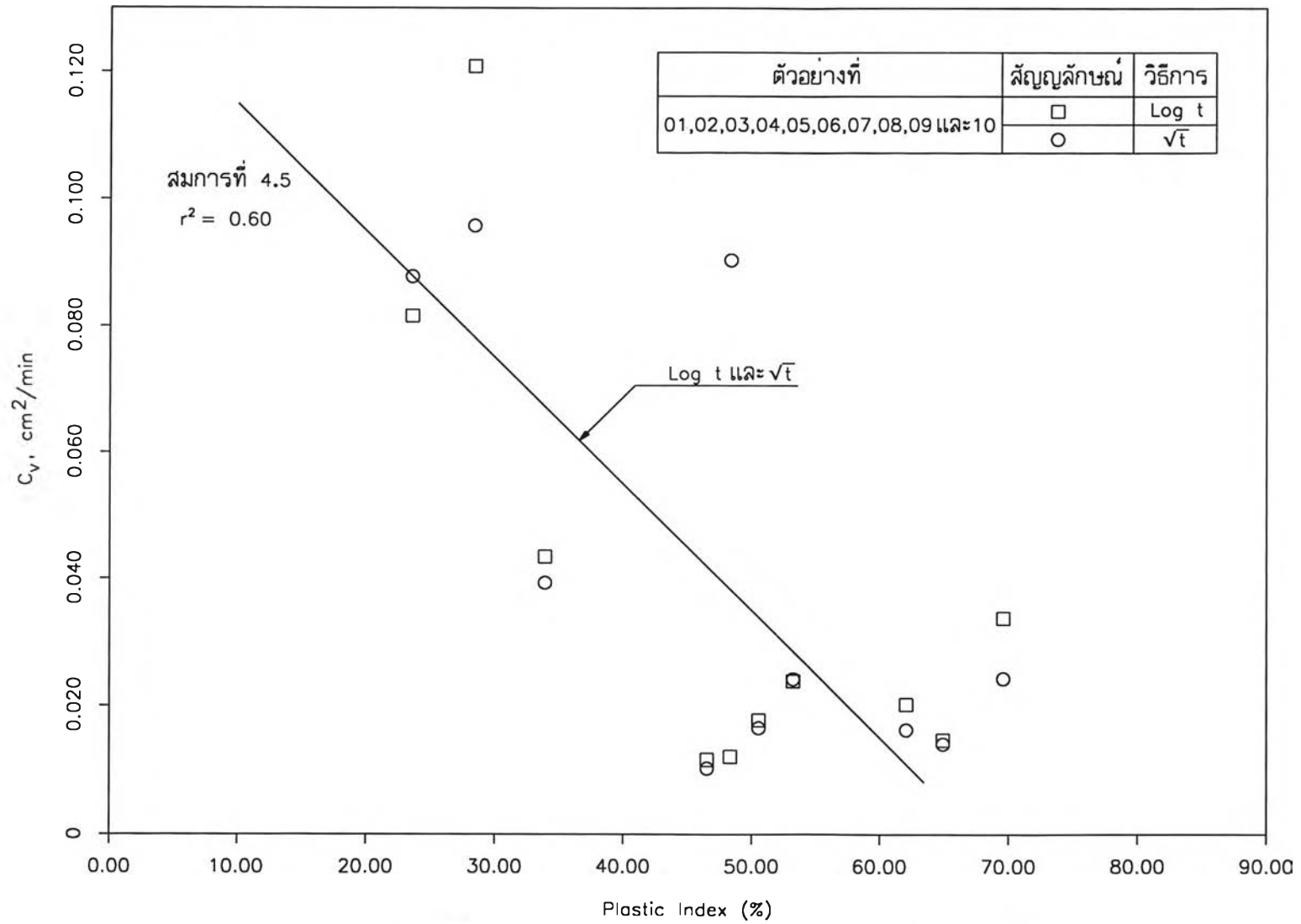




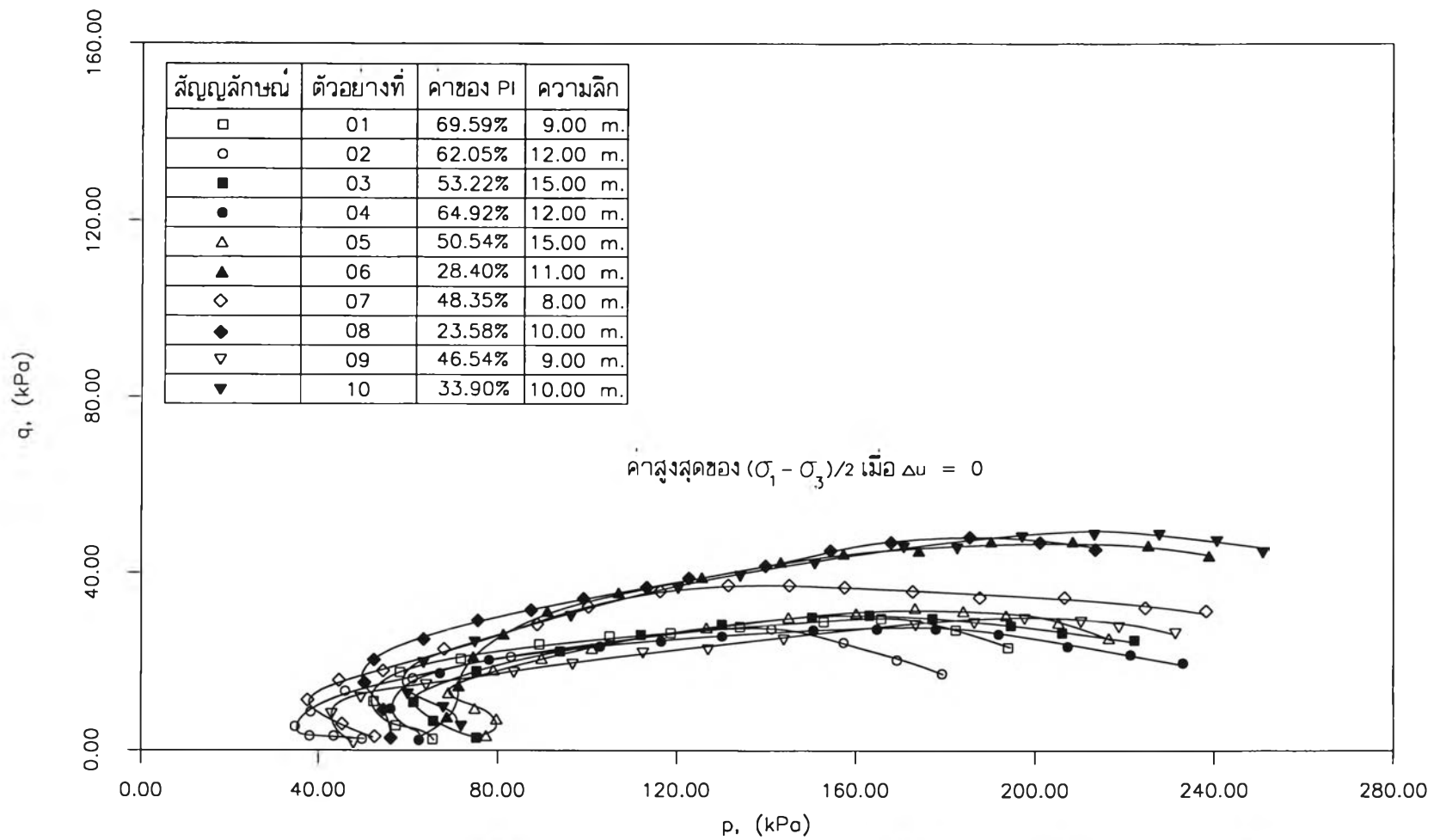
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Coefficient of Secondary Compression ( $C_{\alpha}$ ) กับค่าของ LL



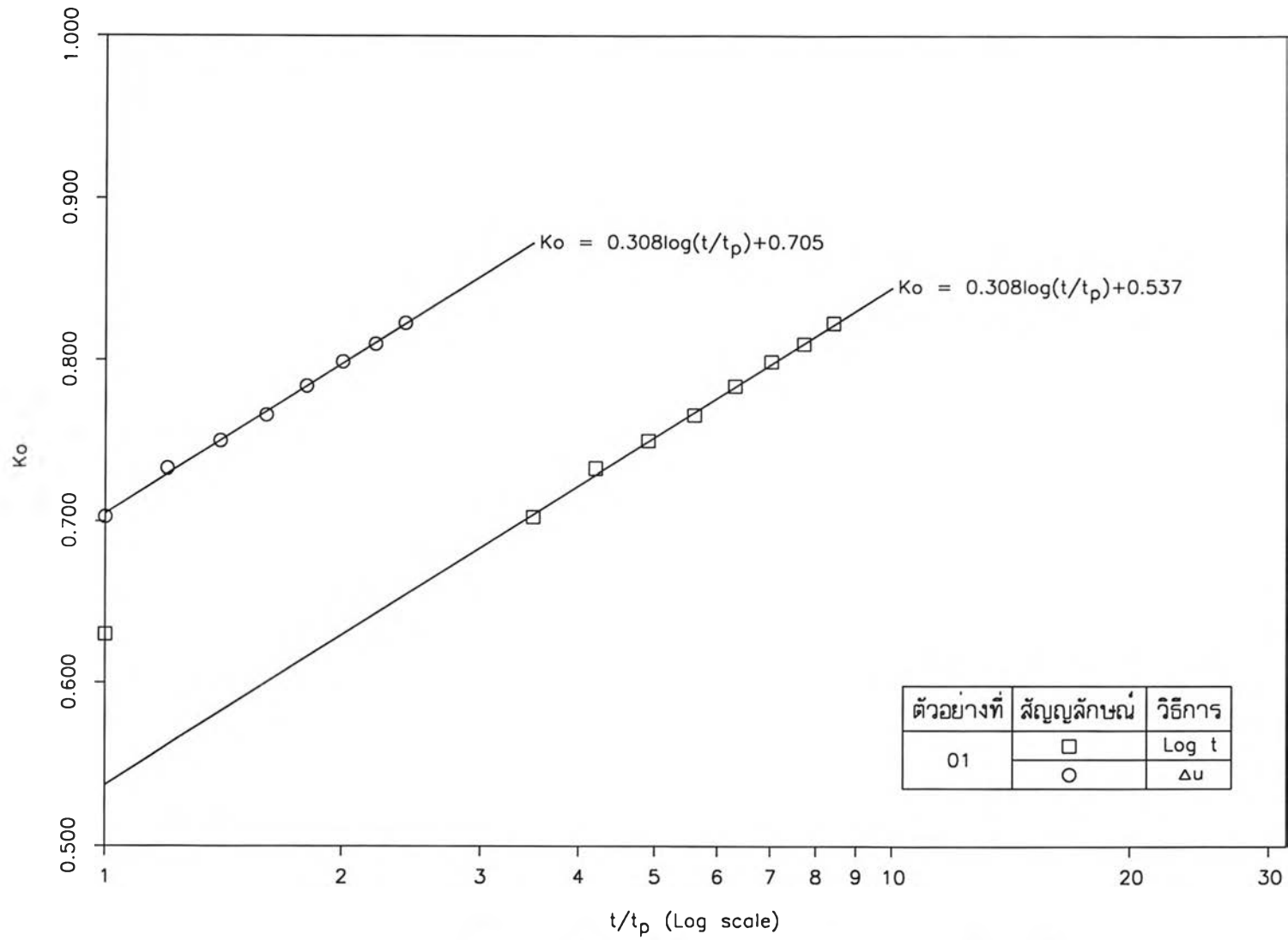
รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vertical Effective Stress ( $\sigma'_v$ ) กับ Strain



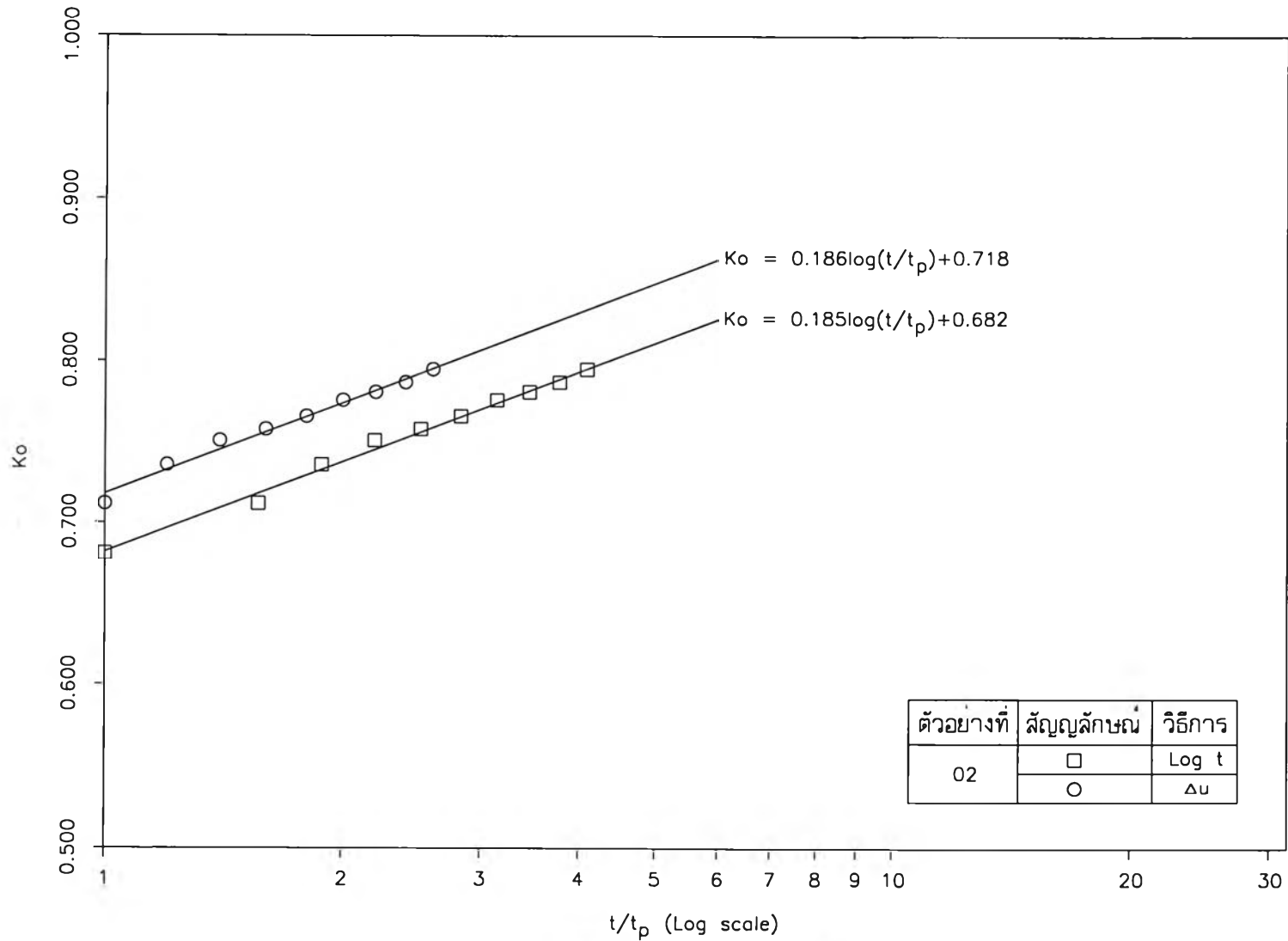
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Coefficient of Consolidation ( $C_v$ ) กับค่าของ PI ด้วยวิธีของ Log t และ  $\sqrt{t}$



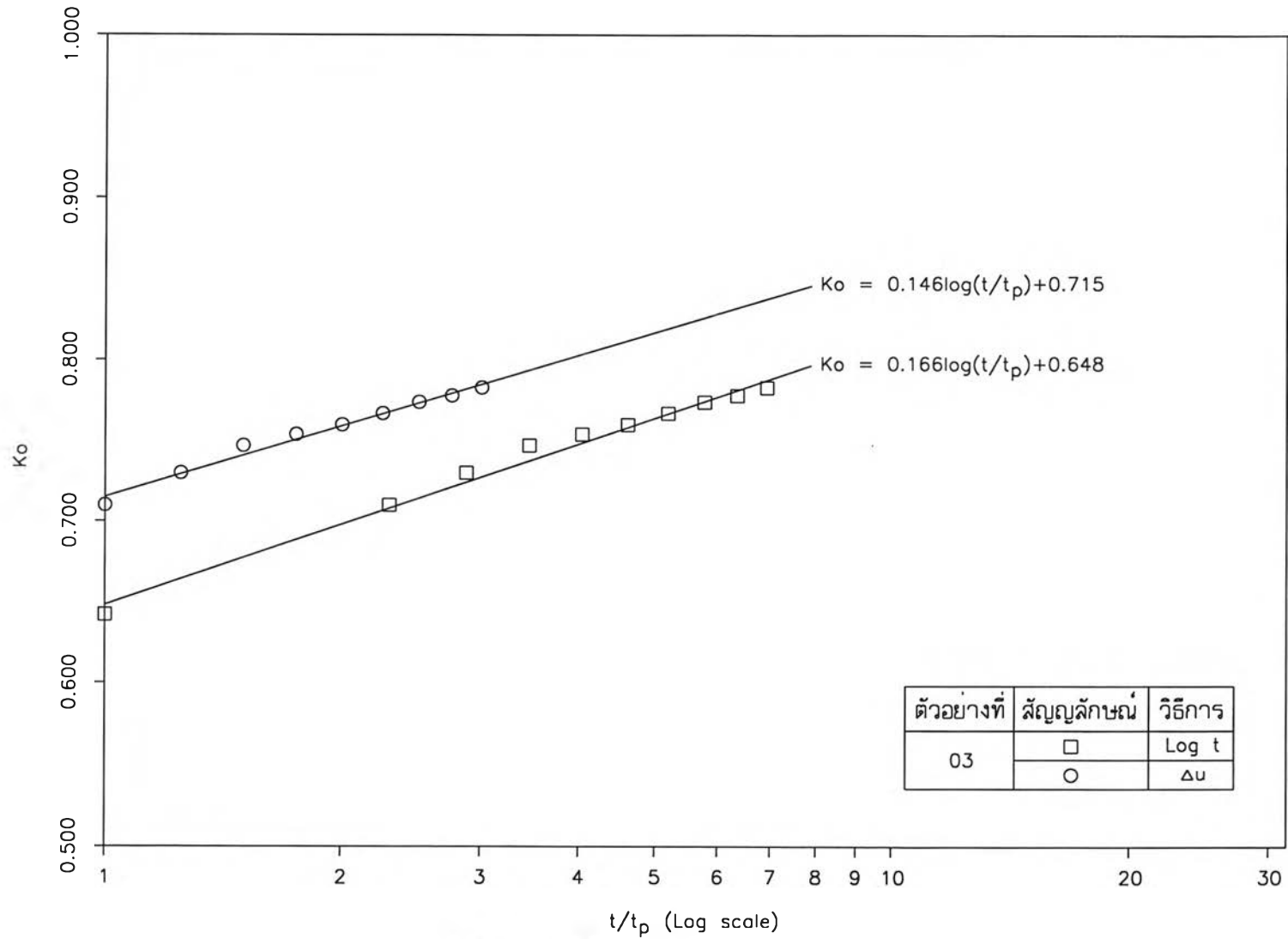
รูปที่ 4.17 ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล เมื่อทำการทดสอบหาค่าของ  $k_0$  ของตัวอย่างดินทั้ง 10 ตัวอย่าง



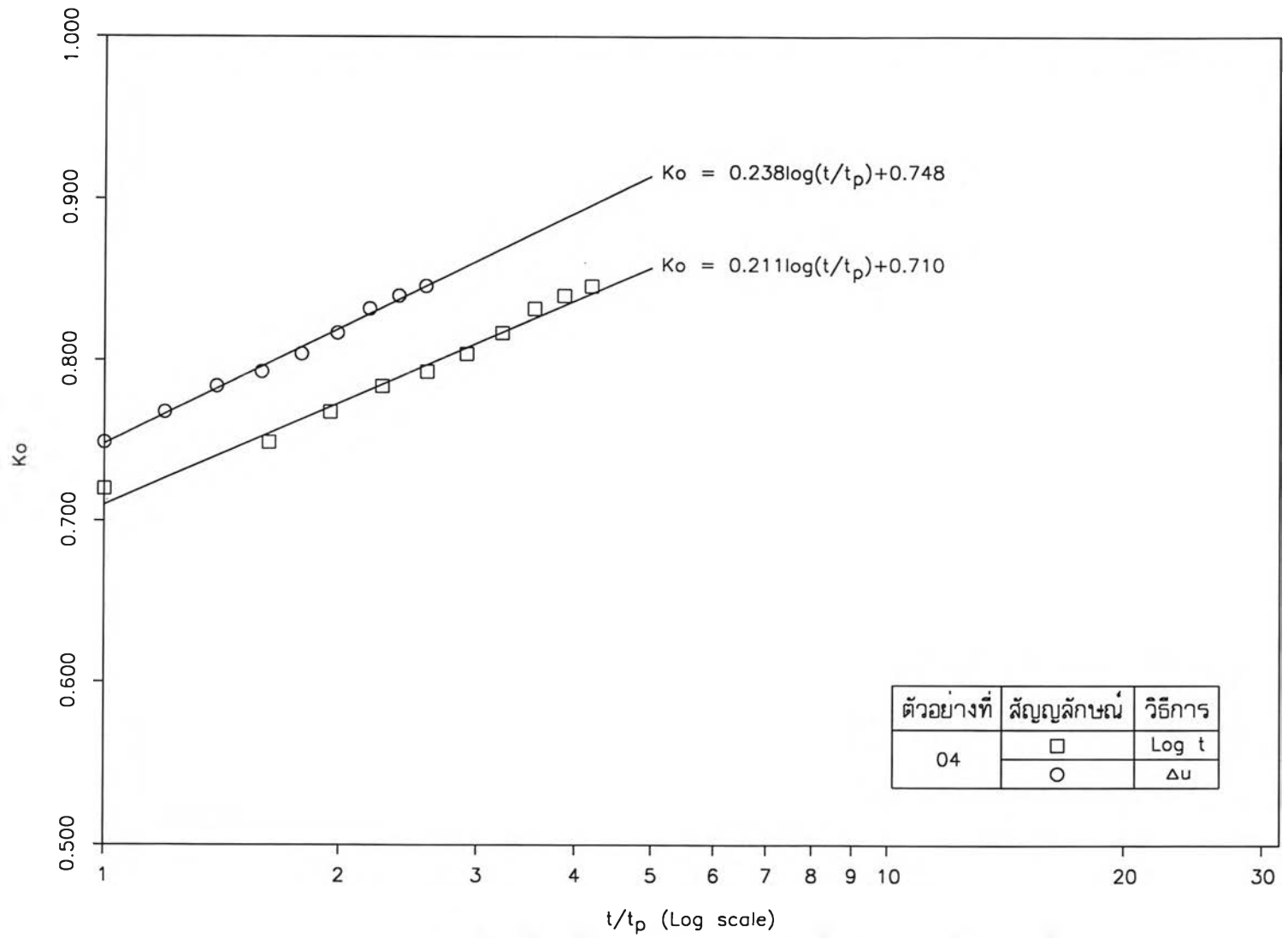
รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ  $K_o$  กับ  $t/t_p$  ของตัวอย่างดินที่ 1 มีค่าของ  $P_1$  เท่ากับ 69.59%



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ $K_o$ กับ  $t/t_p$  ของตัวอย่างดินที่ 2 มีค่าของPI เท่ากับ 62.05%

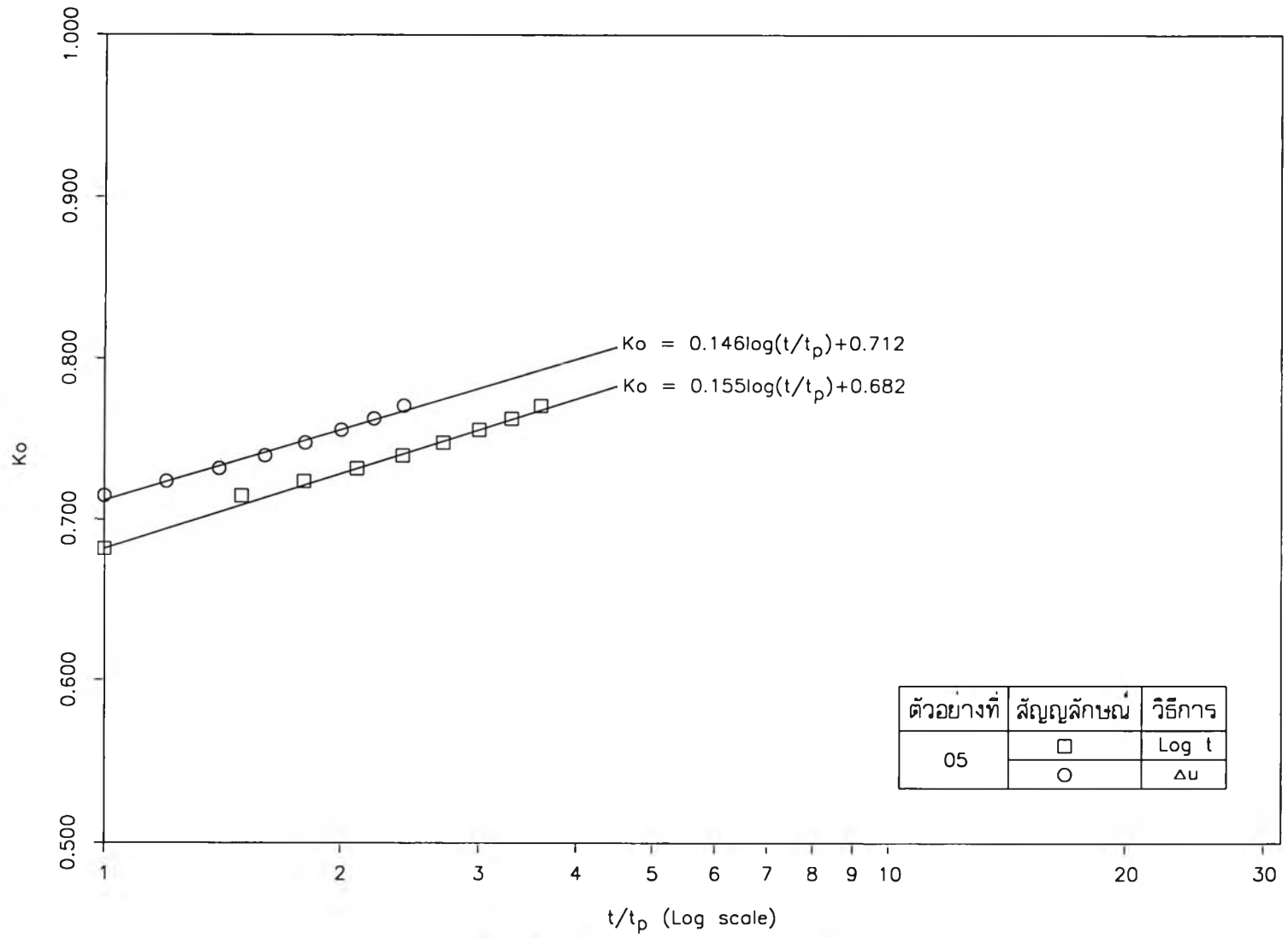


รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ $K_o$ กับ  $t/t_p$  ของตัวอย่างดินที่ 3 มีค่าของPI เท่ากับ 53.22%

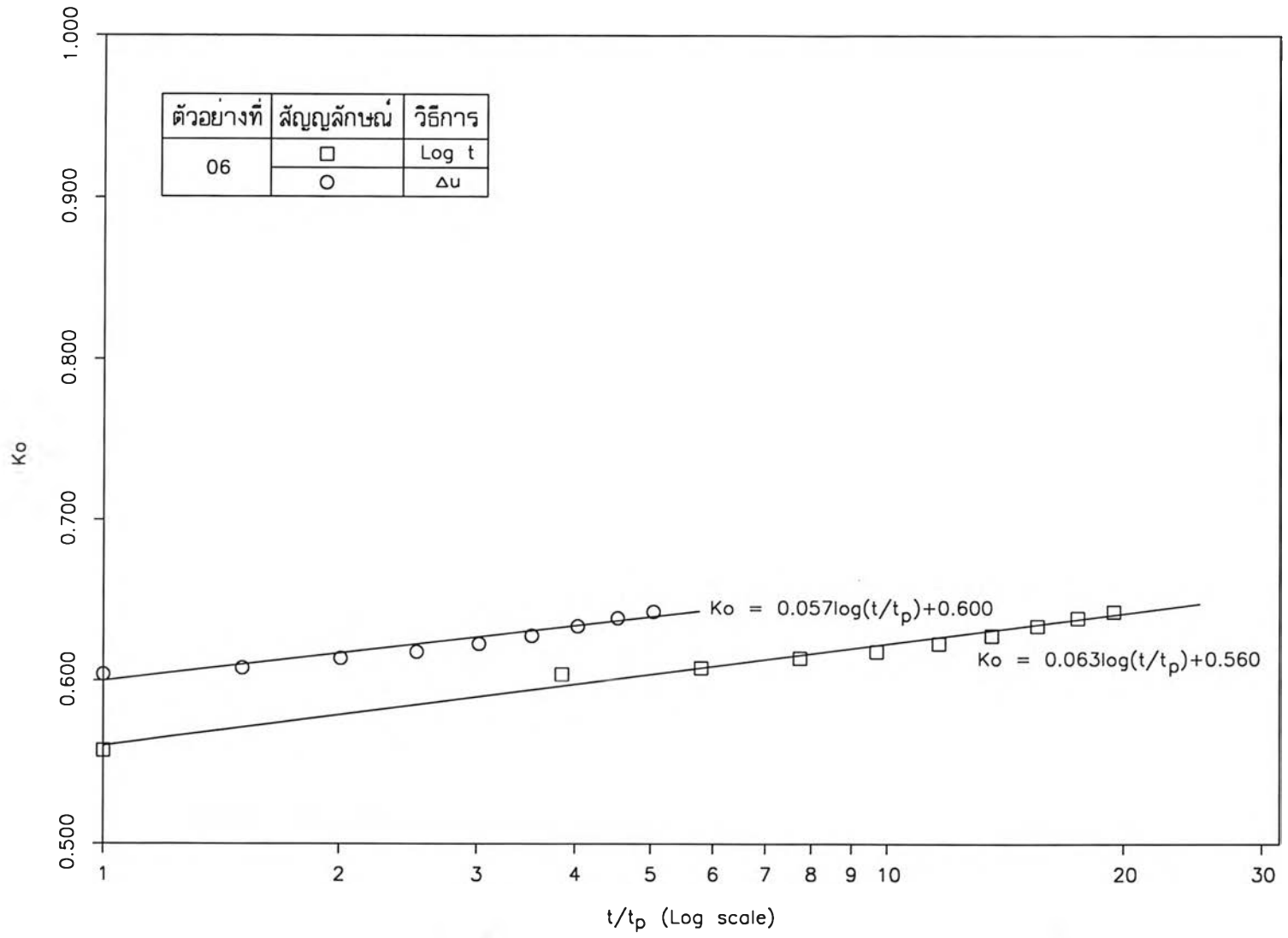


รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ  $K_o$  กับ  $t/t_p$  ของตัวอย่างดินที่ 4 มีค่าของ  $P_i$  เท่ากับ 64.92%

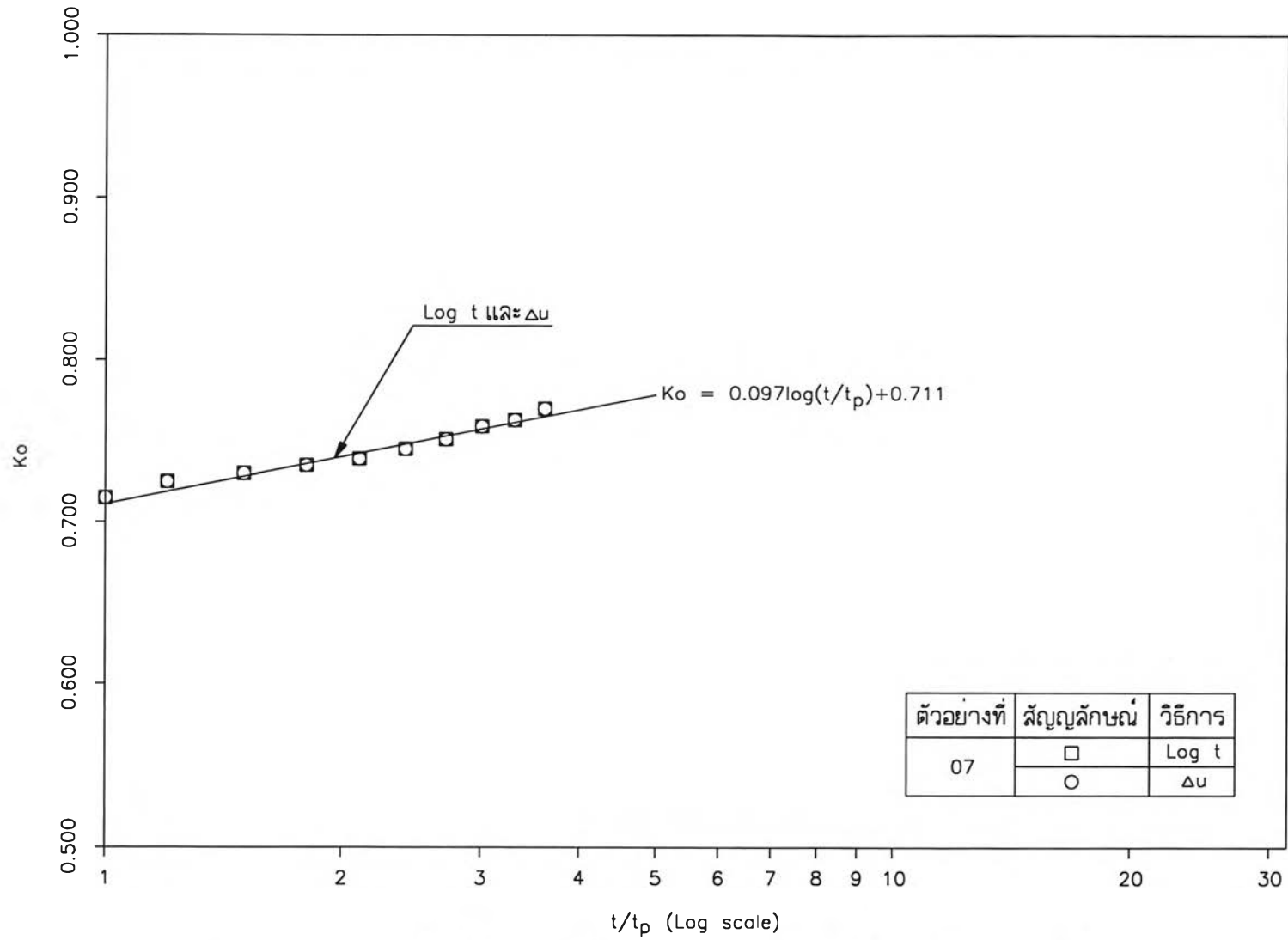




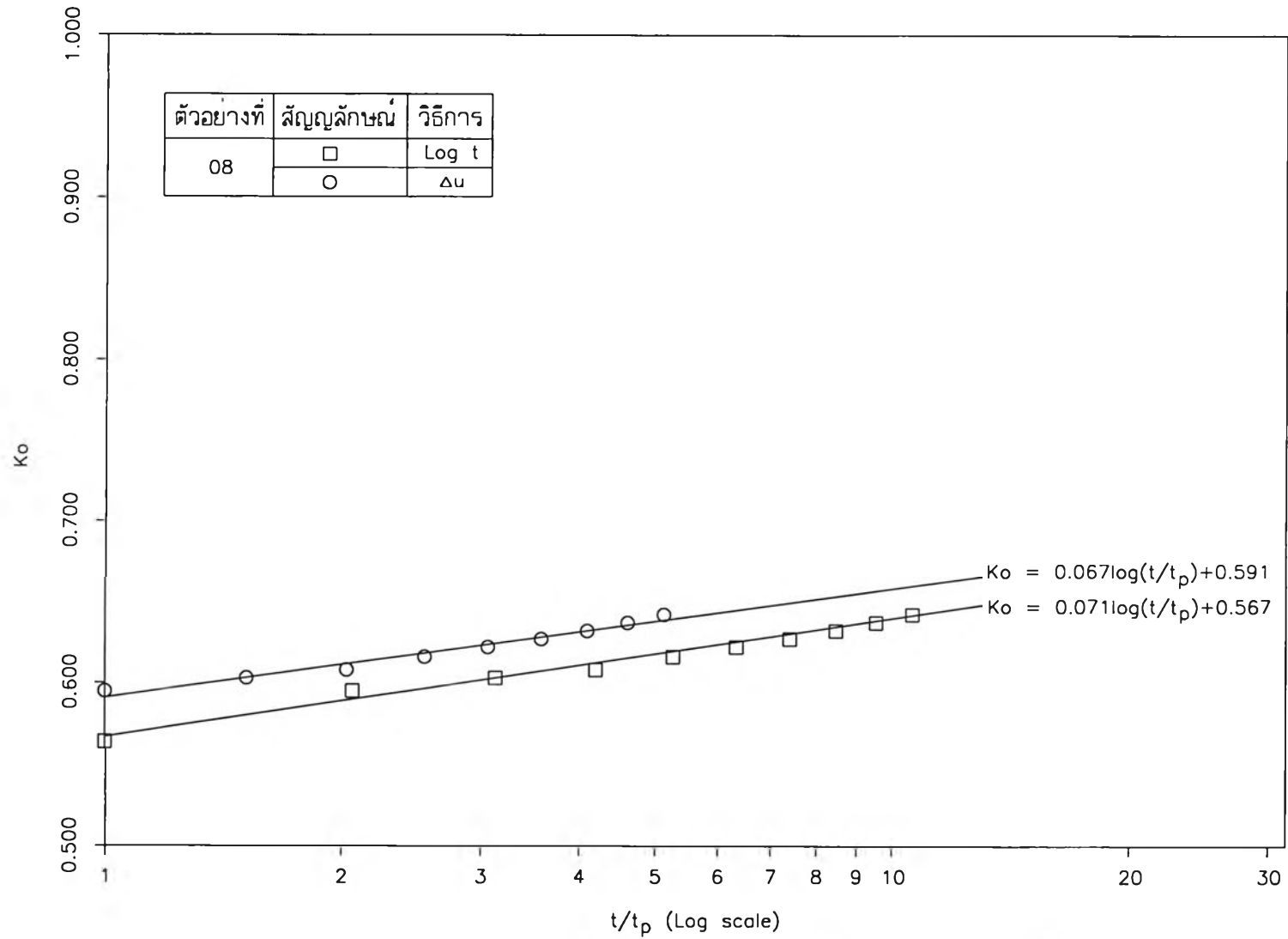
รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ $K_0$ กับ  $t/t_p$  ของตัวอย่างดินที่ 5 มีค่าของPI เท่ากับ50.54%



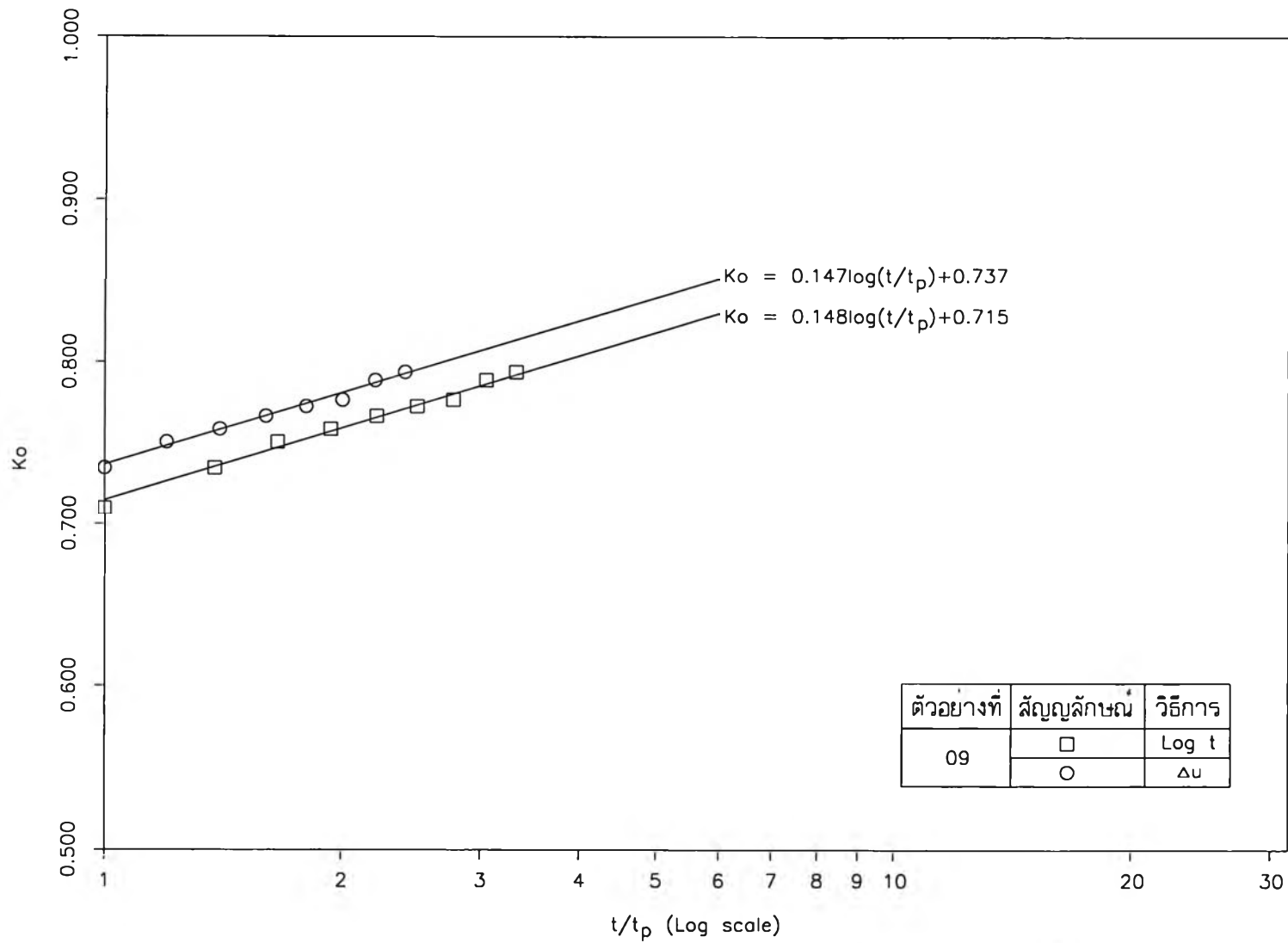
รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ $K_o$ กับ  $t/t_p$  ของตัวอย่างดินที่ 6 มีค่าของPI เท่ากับ 28.40%



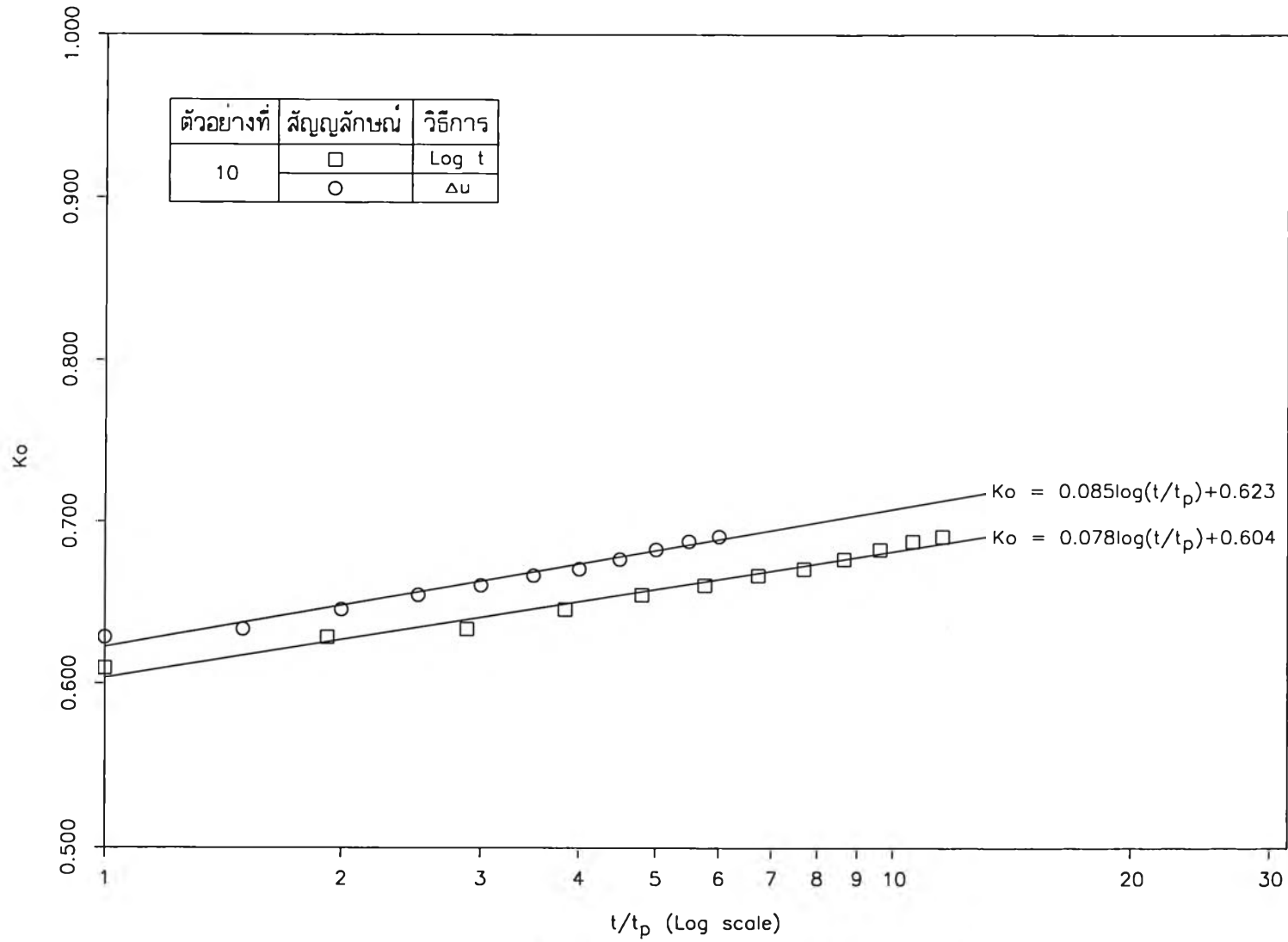
รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ $K_o$ กับ  $t/t_p$  ของตัวอย่างดินที่ 7 มีค่าของPI เท่ากับ 48.35%



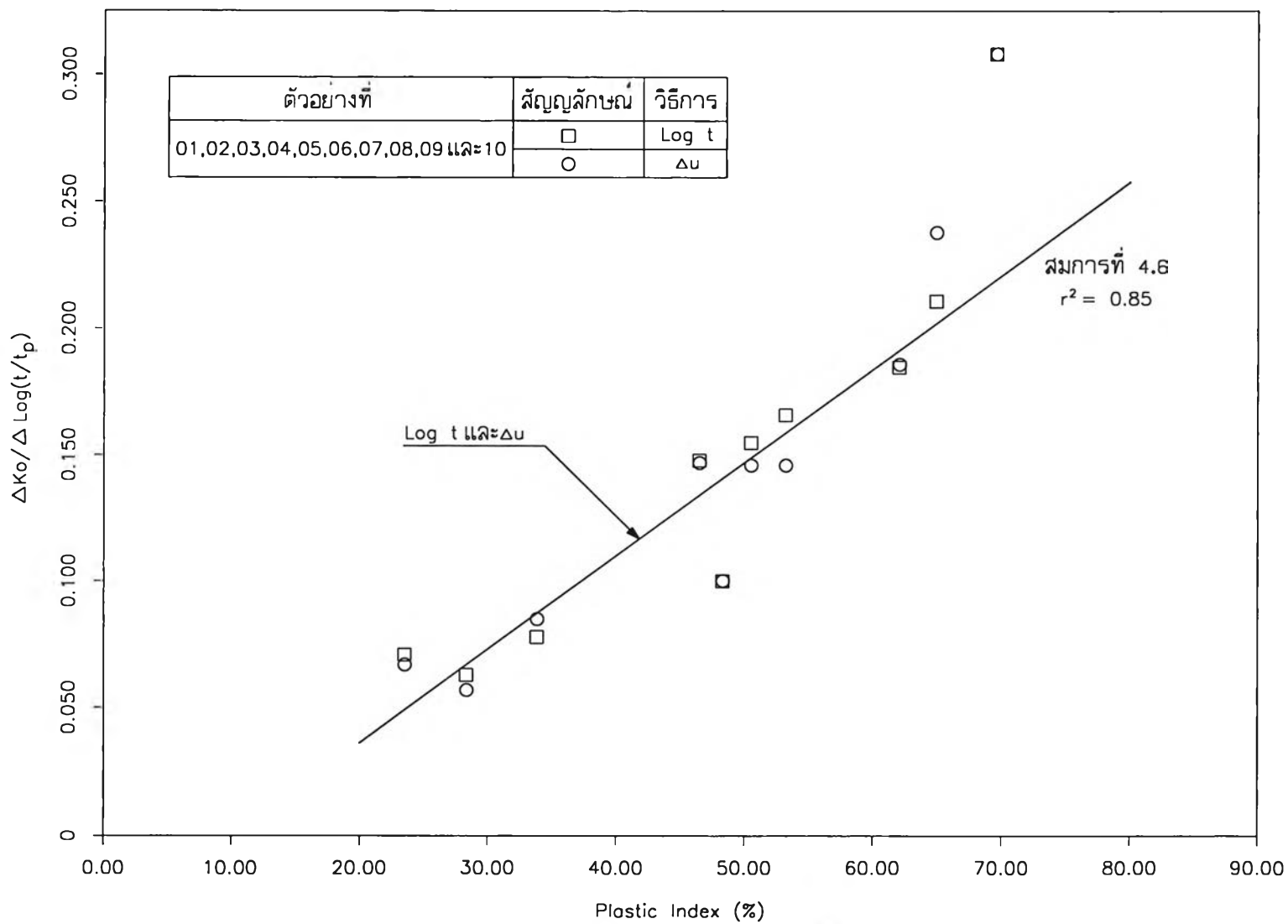
รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ  $K_o$  กับ  $t/t_p$  ของตัวอย่างดินที่ 8 มีค่าของ PI เท่ากับ 23.58%



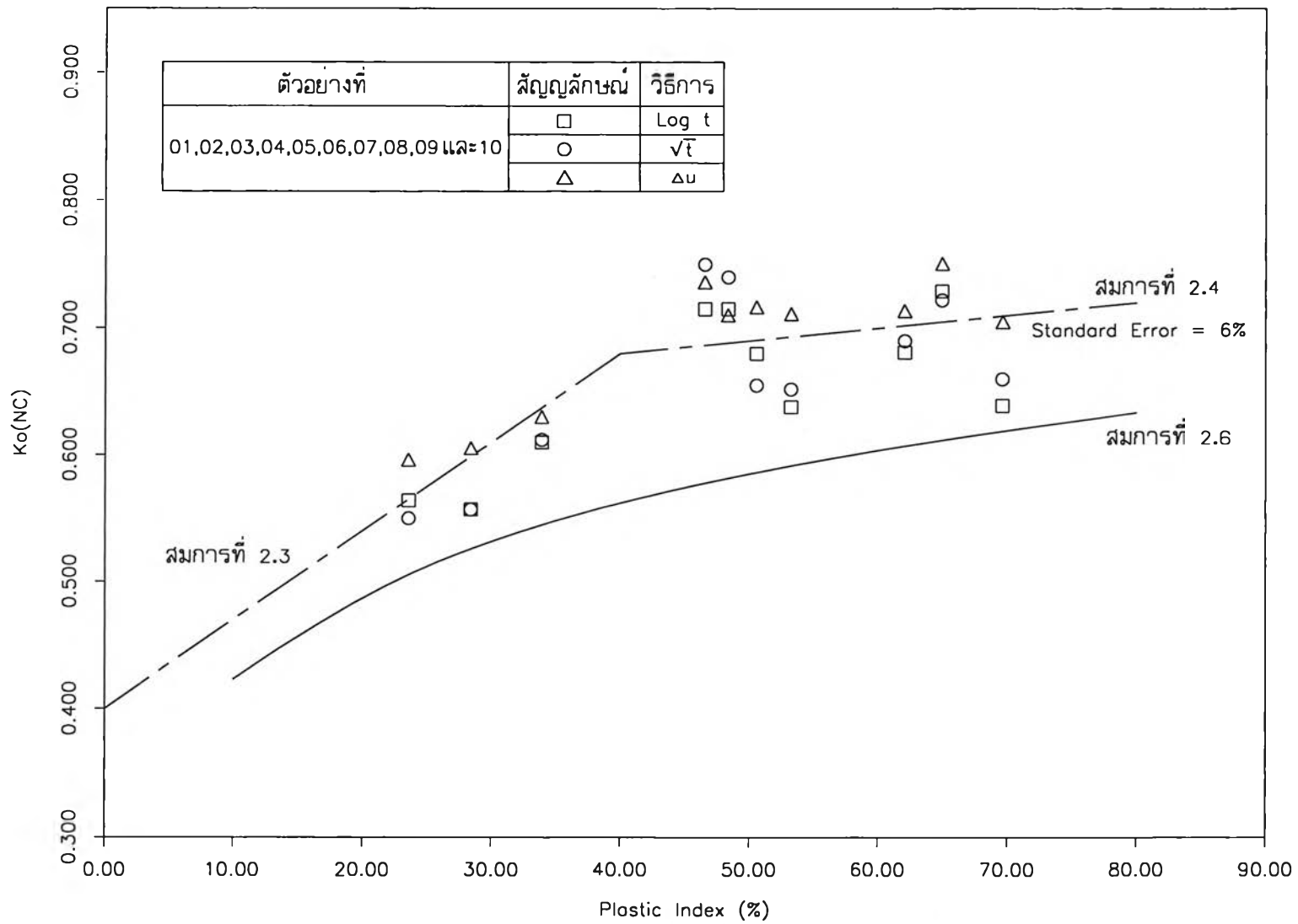
รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ $K_o$ กับ $t/t_p$  ของตัวอย่างดินที่ 9 มีค่าของPI เท่ากับ 46.54%



รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ $K_o$ กับ  $t/t_p$  ของตัวอย่างดินที่ 10 มีค่าของPI เท่ากับ 33.90%

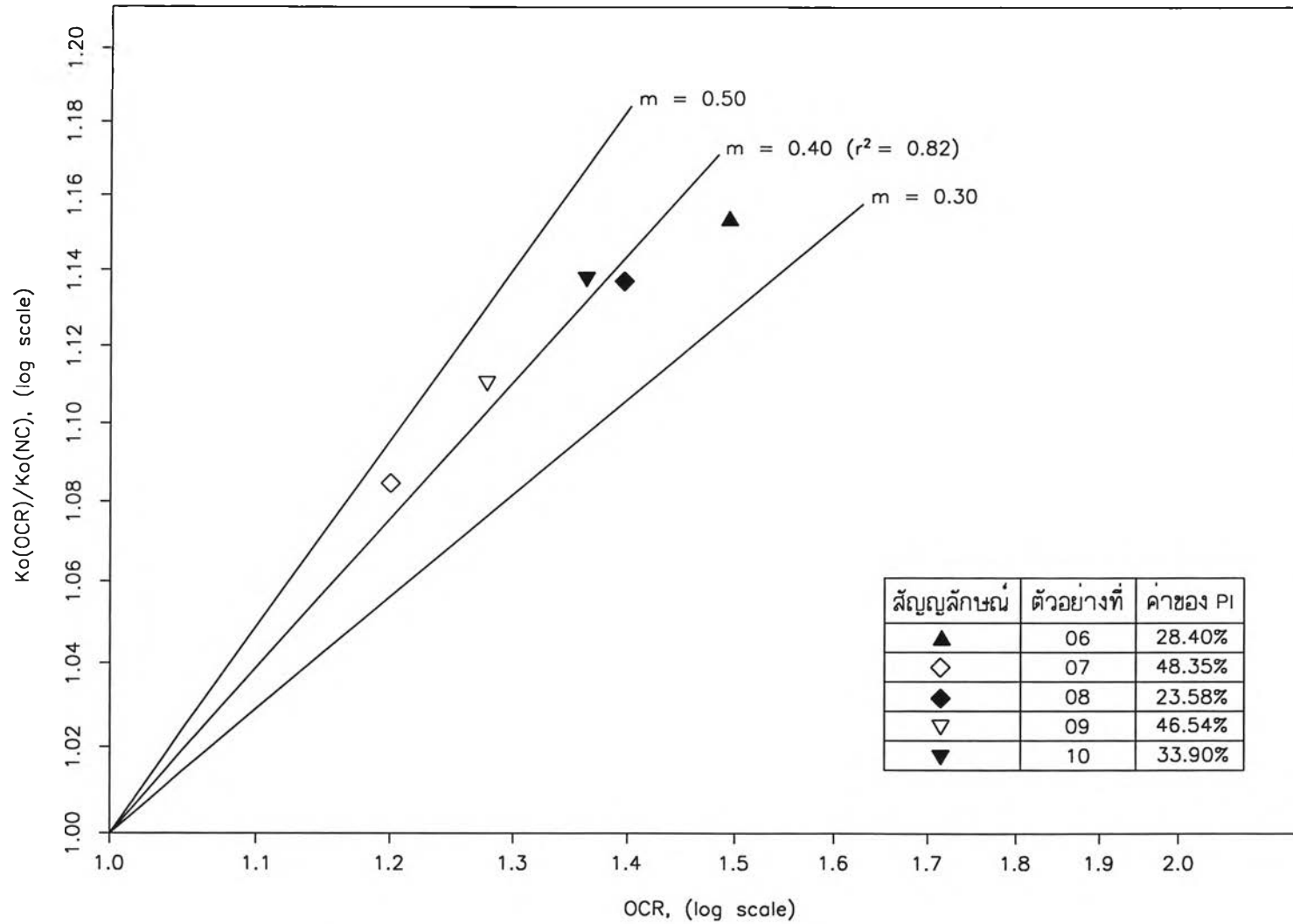


รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า  $K_o$  กับค่าของ PI



รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของ  $K_o(NC)$  กับค่าของ PI





รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนของ  $K_o(OCR)/K_o(NC)$  กับ OCR ด้วยวิธี  $\Delta u$